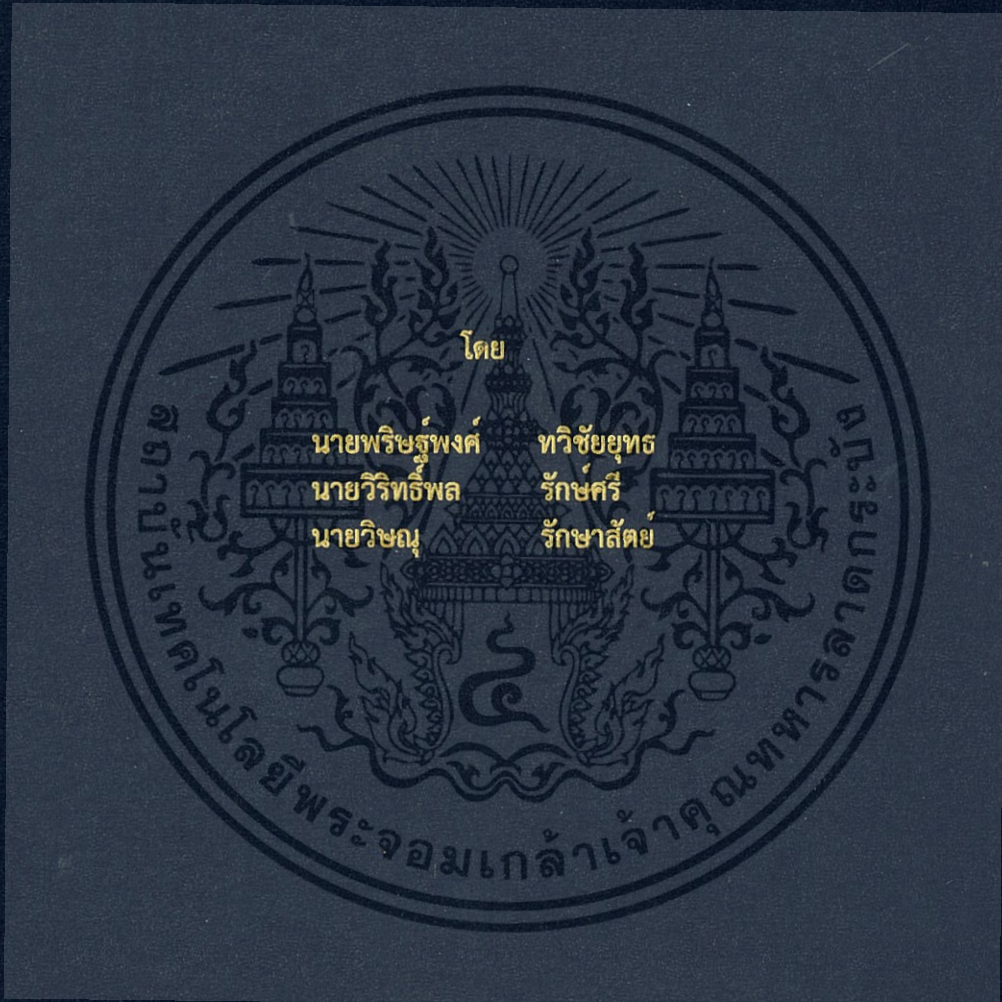


หน้าต่างอัจฉริยะโดยควบคุมผ่านเซนเซอร์รับแสง
INTELLIGENT WINDOW CONTROLLING BY USING LIGHT SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

หน้าต่างอัจฉริยะโดยควบคุมผ่านเซนเซอร์รับแสง

INTELLIGENT WINDOW CONTROLLING BY USING LIGHT SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTELLIGENT WINDOW CONTROLLING BY USING LIGHT SENSOR



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

หน้าต่างอัจฉริยะโดยควบคุมผ่านเซนเซอร์รับแสง

INTELLIGENT WINDOW CONTROLLING BY USING LIGHT SENSOR



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วิวัฒน์

เกยรวงศ์

รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หน้าต่างอัจฉริยะโดยควบคุมผ่านเซนเซอร์รับแสง

ผู้จัดทำ

1. นาย พิรัชต์พงศ์ ทวีชัยยุทธ
2. นาย วิริทธิ์พล รักษ์ศรี
3. นาย วิษณุ รักษาสัตย์



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วิวัฒน์ เกียรติวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างอัจฉริยะโดยควบคุมผ่านเซนเซอร์รับแสง

นาย พริษฐ์พงศ์ ทวีชัยยุทธ

นาย วิริทธิ์พล รักษ์ศรี

นาย วิษณุ รักษาสัตย์

ดร.วิวัฒน์ เกียรติวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาวงจรปรับระดับการจ่ายแรงดันให้แก่กระจกอัจฉริยะ เพื่อให้สามารถเลือกปรับระดับแรงดันที่จะจ่ายให้แก่ กระจกอัจฉริยะ ได้หลากหลายระดับตามแต่ระดับความเข้มแสงในแต่ละเวลาได้อย่างเหมาะสมหรือตามแต่ความต้องการของผู้ใช้ รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมของความเข้มแสงในช่วงเวลาหนึ่งวัน ตั้งแต่เวลา 11.30 นาฬิกา จนถึงเวลา 17.00 นาฬิกา โดยจะวัดค่าความเข้มแสงทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 3 วัน เพื่อนำค่าความเข้มแสงที่ได้จากการศึกษา มากำหนดค่าอนาล็อกที่จะใช้สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมวงจรปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับแต่ละระดับแรงดันที่ได้กำหนดเอาไว้

ผลการศึกษาพบว่า แผงตัววงจรปรับระดับการจ่ายแรงดันที่ได้ออกแบบไว้สำหรับกระจกอัจฉริยะ สามารถใช้งานได้ตามที่ได้ตั้งเป้าเอาไว้ ทั้งวงจรการควบคุมแบบสวิตช์และวงจรการควบคุมในรูปแบบอัตโนมัติโดยใช้เซนเซอร์วัดค่าแสง รวมถึงการกำหนดค่าอนาล็อกเพื่อใช้ในการควบคุมระดับแรงดันที่จะจ่ายไปยังกระจกอัจฉริยะ ในแต่ละระดับความเข้มแสง ซึ่งได้ถูกกำหนดเอาไว้ดังนี้ ระดับ 0 ทำงานที่ 0 โวลต์, ระดับ 1 ที่ 15 โวลต์, ระดับ 2 ที่ 30 โวลต์, ระดับ 3 ที่ 45 โวลต์ และ ระดับ 4 ที่ 70 โวลต์ ซึ่งในแต่ละระดับแรงดันก็จะส่งผลต่อระดับความเข้มแสงที่ส่องผ่าน กระจกอัจฉริยะ ดังนี้ ระดับที่ 0 จะมีค่าการส่องผ่านของแสงอยู่ที่ 22.3 เปอร์เซ็นต์, ระดับ 1 อยู่ที่ 28.8 เปอร์เซ็นต์, ระดับ 2 อยู่ที่ 32.0 เปอร์เซ็นต์, ระดับ 3 อยู่ที่ 33.2 เปอร์เซ็นต์ และ ระดับ 4 อยู่ที่ 34.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวจะใช้เทียบกับค่าความเข้มแสงที่วัดจากภายนอกโดยตรง ซึ่งในอนาคตจะสามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการประหยัดพลังงานภายในอาคารได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Intelligent Window Controlling by Using light sensor

Mr.Paritpong	Tavichaiyuth
Mr.Viritpol	Ruxsri
Mr.Vishnu	Ruksasataya
Dr.Wiwat	Kevoonwong Advisor
Assoc.Prof.Werachet	Khan-ngern Advisor

ABSTRACT

This thesis aimed to design and develop the voltage control circuit for intelligent window in order to adjust the voltage level for applying to intelligent window according to the level of light intensity or user requirement. It also included the study of light intensity during one day from 11:30 am to 5 pm. And measured the intensity of light every 30 minutes for 3 days to obtain the light intensity for determining the analogue values in Arduino code. They will be used for programming the voltage control circuit to suit each voltage level set.

The result indicated that voltage control circuit designed for intelligent window can be used as expected. That also included both manual mode and automatic mode by using light sensor (LDR). By using light intensity to determine analogue value for controlling the voltage control circuit in intelligent window. And these were the voltage level for each level, level 0 at 0 volt, level 1 at 15 volts, level 2 at 30 volts, level 3 at 45 volts and level 4 at 70 volts. For each level, the voltage level will affect the light transmission rate. Level 0 had a light transmission rate at 22.3 percent, level 1 at 28.8 percent, level 2 at 32.0 percent, level 3 at 33.2 percent and level 4 at 34.0 percent, respectively. All of these values were compared with direct light intensity from outside. In the future, it can be used in purpose for energy saving inside building.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการช่วยจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร.วิวัฒน์ เกียรติวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมไปถึงคุณ คุณากร คิตติ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แนวคิด ความช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ด้วยดีมาตลอด

นอกจากนี้ ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ และ เจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการ ECC 103/1 ที่ให้บริการเบิกใช้เครื่องมือด้วยดีมาตลอด รวมถึง คุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิก ใบเสร็จของโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายวิภาส ปานโชติ ที่คอยช่วยให้คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางในการทดลอง ส่งผลให้การออกแบบและทดลองโครงการเป็นไปได้ด้วยความราบรื่นตลอด

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การ สนับสนุน ในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดีจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ.....	5
2.1 ชนิดและประเภทของฟิล์มอัจฉริยะ.....	5
2.1.1 ฟิล์มชนิด Electrochromics	5
2.1.2 ฟิล์มชนิด Polymer Dispersed Liquid Crystals (PDLC).....	6
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกระจก Liquid Crystals.....	6
2.1.3 ฟิล์มชนิด Dispersed Particles	8
2.2 ชนิดและประเภทของกระจก.....	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 กระจกอินซูเลท (Insulated Glass).....	9
2.2.2 กระจกเขียวตัดแสง (Tinted Glass or Heat Absorbed Glass)	10
2.3 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานที่ใช้ในวงจรกำลังของกระจกอัจฉริยะ	11
2.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า	11
2.4 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรกำลังของกระจกอัจฉริยะ	13
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	13
2.4.2 ตัวตรวจจับแสง (Light Dependent Resistors).....	20
2.4.3 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED).....	21
บทที่ 3 การออกแบบ ทดสอบและสร้างระบบการทำงานของกระจกอัจฉริยะ	22
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันกระแสสลับ	22
3.2 การออกแบบชุดคำสั่งการทำงานของฟิล์มอัจฉริยะเบื้องต้นในรูปแบบของโปรแกรมการทำงาน	26
บทที่ 4 ผลการทดสอบกระจกอัจฉริยะ.....	32
4.1 การทดสอบและศึกษาประสิทธิภาพของกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window)	32
4.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพฟิล์มอัจฉริยะ	32
4.1.2 การทดสอบการส่องผ่านของแสงของกระจกอัจฉริยะ	37
4.2 การศึกษาพฤติกรรมเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR	45
4.3 การออกแบบ และสร้างวงจรควบคุมการจ่ายแรงดันของกระจกอัจฉริยะ	49
บทที่ 5 สรุป	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก.....	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข.....	68
ภาคผนวก ค.....	76
ภาคผนวก ง.....	80
ภาคผนวก จ.....	83
ภาคผนวก ฉ.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	95



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกระจก Liquid Crystals.....	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกระจกอินซูเลท (Insulated Glass)	9
รูปที่ 2.3 สมการในการหาระยะช่องว่างที่เหมาะสมของกระจกอินซูเลท.....	9
รูปที่ 2.4 ความสามารถในการลดมลภาวะทางเสียงของกระจกอินซูเลท	10
รูปที่ 2.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญของกระจกสีต่างๆกัน.....	11
รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.7 บอร์ดArduino Uno Rev3.....	15
รูปที่ 2.8 ATmega168/328-Arduino Pin Mapping.....	16
รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์ของ LDR.....	20
รูปที่ 2.10 Module ของ LDR.....	20
รูปที่ 2.11 ลักษณะของตัว LED.....	21
รูปที่ 3.1 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์โดยรวม	23
รูปที่ 3.2 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 0 โวลต์	23
รูปที่ 3.3 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 15 โวลต์	24
รูปที่ 3.4 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 30 โวลต์	24
รูปที่ 3.5 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 45 โวลต์	25
รูปที่ 3.6 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 55 โวลต์	25

สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.7 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 70 โวลต์	26
รูปที่ 3.8 flowchart แสดงช่วงการกำหนดตัวแปรและรอรับคำสั่งสวิตช์หรือจากคอมพิวเตอร์.....	27
รูปที่ 3.9 flowchart แสดงการทำงานเมื่อส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์.....	28
รูปที่ 3.10 flowchart แสดงการทำงานเมื่อส่งคำสั่งจากสวิตช์	29
รูปที่ 3.11 flowchart แสดงการทำงานในโหมดอัตโนมัติโดยการตรวจสอบค่าอนาล็อกในการเปลี่ยนระดับ.....	30
รูปที่ 3.12 flowchart แสดงการทำงานช่วงรับค่าคำสั่งจากโปรแกรมและส่งสัญญาณตามค่าที่ได้กำหนดไว้.....	31
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของฟิล์มอัจฉริยะ	34
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าจริงของฟิล์มอัจฉริยะ	34
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของฟิล์มอัจฉริยะ	35
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าสลับของฟิล์มอัจฉริยะ	35
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสลับที่ฟิล์มอัจฉริยะ	36
รูปที่ 4.6 ชุดกระจกอัจฉริยะประกอบเข้ากับกล่องที่ปิดหนึ่งด้านแล้วคลุมด้วยผ้าใบเพื่อกันแสง	37
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของกระจกอัจฉริยะ	45
รูปที่ 4.8 วงจรหาค่าอนาล็อกจากโมดูลเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR	46
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มแสงกับค่าอนาล็อก	48
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลค่าความเข้มแสงที่ใช้สำหรับการเพิ่ม-ลดระดับการทำงาน	51
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะการต่อวงจรควบคุมการทำงานของกระจกอัจฉริยะ	52
รูปที่ 4.12 วงจรควบคุมการแบ่งจ่ายแรงดันสำหรับใช้งานกับกระจกอัจฉริยะ.....	52
รูปที่ 4.13 ฟิล์มอัจฉริยะที่ติดบนกระจกเขียวตัดแสงที่ติดตั้งแบบกระจกอินซูเลท.....	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ	3
ตารางที่ 2.1 Specified ของ Arduino UNO Rev3	17
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการใช้พลังงานของฟิล์มPDLCที่ระดับแรงดันต่างๆ	33
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 12 มีนาคม 2561	38
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 12 มีนาคม 2561.....	39
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 15 มีนาคม 2561	40
ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 15 มีนาคม 2561.....	41
ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 18 มีนาคม 2561	42
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 18 มีนาคม 2561.....	43
ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของอุณหภูมิ ณ วันที่ 10 เมษายน 2561	44
ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าอนาล็อกจากโมดูลเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR	47
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านและการใช้พลังงานของฟิล์ม	49
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลค่าอนาล็อกกับค่าความเข้มแสงที่ใช้สำหรับการเพิ่มระดับ	50
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลค่าอนาล็อกกับค่าความเข้มแสงที่ใช้สำหรับการลดระดับ	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทุกวันนี้ในอาคารต่าง ๆ นั้นประสบปัญหาการสูญเสียพลังงานเพื่อใช้ในการปรับอากาศ และความสว่างภายในตัวอาคารให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งความร้อนและแสงสว่างส่วนใหญ่ นั้นจะได้รับมาจากภายนอกโดยผ่านทางกระจก ทำให้กระจกนั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญในเรื่องใช้พลังงานภายในตัวอาคาร เช่น ในขณะที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกทำให้ต้องปรับอากาศให้ลดลง อีกทั้งในขณะที่แสงสว่างจากภายนอกพอเพียงอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งให้ความสว่างภายในด้วย ดังนั้นหากสามารถที่จะควบคุมปริมาณความสว่างและความร้อนที่ส่องผ่านตัวกระจกได้นั้นจะเป็น การลดค่าใช้จ่ายในการใช้แสงสว่างจากภายใน และจากการปรับอากาศภายใน

ทั้งนี้ในปัจจุบันได้มีการผลิต ฟิล์มอัจฉริยะ (Intelligent films) ขึ้นมาซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีหลายชั้นที่โดดเด่นด้วยความสามารถในการเปลี่ยนรูปแบบการส่งผ่านแสงได้ภายใต้การควบคุมของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะติดตั้งไว้ที่กระจกหน้าต่างภายในอาคาร เพื่อช่วยในการลดความร้อนและการใช้ประโยชน์แสงในช่วงกลางวันที่มาขึ้นด้วย

การควบคุมการส่องผ่านของแสงอาทิตย์เพื่อประโยชน์ในการมองเห็น และการควบคุมการส่งผ่านของอุณหภูมิ โดยที่จะเจาะจงพัฒนาที่ตัวกระจกอัจฉริยะให้สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติไปตามเวลาเพื่อตอบสนองต่อสภาพอากาศ (อุณหภูมิ ความเข้มแสงแดด ความสว่างท้องฟ้า) หรือตามความต้องการของผู้ใช้ ผ่านการควบคุมโดยวงจรควบคุมและปรับระดับความสว่างโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับแสงในการส่งค่าไปยังวงจรควบคุม เพื่อปรับสภาพความสว่างภายในอาคารให้เป็นไปตามที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของวงจรควบคุมและนำมาสร้างชุดการทำงานของตัวกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window) โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังต่อไปนี้

1. เพื่อออกแบบวงจรการทำงานของชุดกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window) และสามารถอธิบายหลักการทำงานได้
2. เพื่อสร้างชุดคำสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้ควบคุมวงจรกำลัง (Power Circuit)
3. ใช้สวิตช์ (Switch) เพื่อเป็นวงจรอินพุตส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับระบบควบคุมด้วยตัวเอง
4. ใช้ตัวตรวจจับแสง LDR (LDR Sensor) เพื่อเป็นอินพุตส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

วิทยานิพนธ์นี้ จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของวงจรควบคุมและนำมาสร้างชุดการทำงานของตัวกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window) โดยมีขอบเขตของการทดลองดังต่อไปนี้

1. สร้างวงจรตรวจจับแสงเพื่อควบคุมการเปลี่ยนสถานะการทำงานของกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window)
2. เขียนตัวคำสั่งไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อควบคุมวงจรกำลังของกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window)
3. สร้างชุดวงจรกำลังของกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window) โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดปรับระดับ
4. สร้าง ทดสอบและปรับปรุงชุดการทำงานของกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window)

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถออกแบบวงจรการทำงานของชุดกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window) และอธิบายหลักการทำงานได้
2. สามารถสร้างชุดคำสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้ควบคุมวงจรกำลัง (Power Circuit)
3. สามารถใช้สวิตช์ (Switch) เพื่อเป็นวงจรอินพุตส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับระบบควบคุมด้วยตัวเอง
4. สามารถใช้ตัวตรวจจับแสง LDR (LDR Sensor) เพื่อเป็นอินพุตส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

2.1 ชนิดและประเภทของฟิล์มอัจฉริยะ

2.1.1 ฟิล์มชนิด Electrochromics

กระจก EC มีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ ต้องการใช้พลังงานแค่ในการสวิตซ์ซึ่ง มีความต้องการใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย (1-5 V) สามารถทำงานได้ในทุกๆสถานะ มีการปรับแสงอย่างต่อเนื่อง และมีหน่วยความจำระยะยาว (12-48 h) และ EC ส่วนใหญ่มีค่าการส่งผ่านที่มองเห็นได้ (Tv) เท่ากับ 0.65-0.50 ที่สภาวะโปร่งใสและ 0.25-0.10 ที่สภาวะทึบแสง และสัมประสิทธิ์แรงเงา (SC) อยู่ที่ประมาณ 0.67-0.60 ที่สภาวะโปร่งใส และ 0.30-0.18 ที่สภาวะทึบแสง

วัสดุ EC นั้นสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติการมองเห็นได้เมื่อกระทำกับสนามไฟฟ้าและสามารถแปลงกลับได้ด้วยกระบวนการย้อนกลับ มีอยู่สองประเภทหลักๆสำหรับวัสดุ EC ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโลหะออกไซด์รวมถึงสารประกอบอินเทอร์คาเลชั่นและสารอินทรีย์รวมถึงโพลิเมอร์

โดยการใช้วัสดุที่แตกต่างกันสองชนิด ทั้งสองด้านของกระจกสามารถแปลงสีได้ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดความหนาแน่นของแสงมากขึ้น ซึ่งสีนั้นสามารถเปลี่ยนได้ตามธาตุเช่น H⁺, Na⁺ และ Ag⁺ และสารอินทรีย์ที่ได้รับความนิยมในหลากหลายด้านคือ WO₃, NiO, MoO₃ และ IrOx สารประกอบเหล่านี้ ในหมู่การแปลงโลหะออกไซด์เป็นตัวอย่างในการทดลอง อุปกรณ์ EC ต้องใช้วัสดุที่สามารถบรรจุไอออน (electrolyte) ได้ใกล้กับชั้น EC ดีพอๆกับชั้นโปร่งแสงเพื่อสำหรับการตั้งค่าทางสนามไฟฟ้า อุปกรณ์ได้ถูกออกแบบนั้นเพื่อจะได้รับส่งไอออนเข้าและออกในชั้น EC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระจก EC สามารถผลิตจากห้าชั้น (หรือน้อยกว่า) ประกอบด้วย ตัวนำโปร่งแสงสองชั้น ตัวนำประจุหรืออิเล็กโทรด ตัวช่วยอิเล็กโทรด และชั้น EC

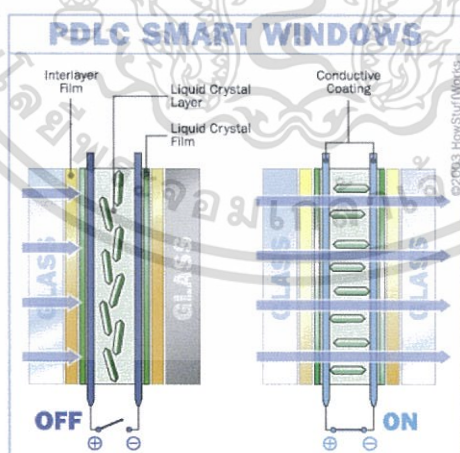
ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่ใช้ในอุปกรณ์ บางชั้นก็สามารถผสมทำงานเป็นคู่ บางชั้นก็อาจจะใช้จำนวนชั้นมากกว่า ซึ่งตัวนำประจุก็ยังต้องการการพัฒนาต่อไปอีกสำหรับเทคโนโลยีนี้ ตัวนำไอออนที่มีแนวโน้มมากที่สุดคือตัวทำละลายโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ กระจกไอออนิกและโครงสร้างโลหะออกไซด์เปิด เช่น perovskites

บางรูปของ ผลึก WO₃ ก็สามารถทนการสับเปลี่ยนในย่านใกล้อินฟราเรดได้ วัสดุนี้มีศักยภาพในการควบคุมส่วนอินฟราเรดของแสงอาทิตย์ได้ ส่วนใหญ่ตัวอย่างแบบอะมอร์ฟัสที่ถูกใช้โดยนักพัฒนา

ก็มีผลกระทบในย่านใกล้อินฟราเรดเล็กน้อย ซึ่งผลึก WO₃ ได้ถูกศึกษาโดยนักตรวจสอบหลายต่อหลายคน ระดับจุดสูงสุดใกล้อินฟราเรดจาก 20% ไปถึงมากกว่า 75% ทำได้ด้วยผลึก ทั้งสแตนออกไซด์ สมบัติการสะท้อนแสงของมันที่ถูกผลิตจนถึงตอนนี้ดูเหมือนจะห่างไกลจากข้อจำกัดทางทฤษฎีอยู่มาก

2.1.2 ฟิล์มชนิด Polymer Dispersed Liquid Crystals (PDLC)

ระบบผลึกเหลวได้เสนอถึงวิธีการใหม่ในการสวิตซ์ทางไฟฟ้า กลไกการสวิตซ์ในผลึกเหลวคือการเปลี่ยนการเรียงตัวของโมเลกุลผลึกเหลว ให้สลับระหว่างสองตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ด้วยสนามไฟฟ้า การวางแนวจะเปลี่ยนไปตามความเข้มสนามไฟฟ้าที่จะไปเปลี่ยนคุณสมบัติของหน้าต่างอีกที่ Open circuit memory ไม่สามารถใช้งานได้กับผลึกเหลว ผลึกเหลวแบบกระจายตัวเป็นชนิดเดียวที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ กระจกแบบ โครโมเจนิกที่ใหญ่ที่สุดคือแบบ ผลึกเหลวกระจายตัว สำหรับการใช้งานอาคารและยานยนต์เฉพาะด้าน แต่ผลึกเหลวชนิด guest-host ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับกระจกขนาดใหญ่เช่นกัน ผลึกเหลวชนิดกระจายตัวนั้นมีสองประเภท คือแบบ ผลึกเหลวกระจายตัวโพลีเมอร์ (PDCL) และผลึกเหลวแบบห่อหุ้ม (NCAP-nematic curvilinear aligned phase) (nematic คือ ของเหลวโปร่งใสที่ทำให้เกิดขั้วของคลื่นแสง ซึ่งจะเปลี่ยนเมื่อผ่านของเหลวนี้)ซึ่งประกอบด้วย ของเหลว nematic ที่กระจายตัวตามโพรงเล็กๆ PDCL และ NCAP นั้นจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่มีการระบุไว้ในสิทธิบัตรแตกต่างกันไปตามกรรมวิธีการผลิต NCAP นั้นเกิดขึ้นจากการอิมัลชัน และ PDCL นั้นเกิดขึ้นจาก isotropic solution ที่เฟสออกจากกันในช่วงที่แข็งตัว ซึ่ง 3M และ General Motors Research Laboratory ร่วมกับ Kent State University ได้พัฒนา PDCL สำหรับกระจกยานยนต์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกระจก Liquid Crystals

จากรูปแสดงโครงสร้างของกระจก Liquid Crystals ซึ่งประกอบด้วยกระจกประกบกันสองแผ่น โดยบริเวณส่วนด้านในทั้งสองจะปิดด้วยแผ่นฟิล์มโพลีเมอร์ (Interlayer film) ตามด้วยผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลวอยู่ในรูปของแผ่นฟิล์มบาง ๆ (Liquid crystal film) และเคลือบด้วยสารตัวนำไฟฟ้า (Conductive coating) ส่วนบริเวณตรงกลางจะเป็นผลึกเหลว (Liquid crystal layer) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวบังแสง โดยมีแหล่งจ่ายไฟตรงเป็นแหล่งพลังงานเพื่อควบคุมการปิดเปิดให้แสงผ่าน

การควบคุมปริมาณความเข้มหรือความสว่างของแสงให้ผ่านเข้ามาสู่ภายในตัวอาคารจะไม่สามารถควบคุมได้ แต่สามารถจะเลือกได้ว่าให้เป็นกระจกแบบใสหรือแบบโปร่งแสงเท่านั้น เมื่อจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ การจัดเรียงตัวของผลึกเหลวก็จะเป็นเส้นตรงเปิดช่องได้กว้างทำให้แสงผ่านเข้ามาได้เช่นเดียวกับกระจกใส แต่ถ้าหยุดจ่ายแรงดันจะทำให้แสงไม่สามารถผ่านเข้ามาได้น้อยหรือไม่ได้เลย แต่จะมีความโปร่งแสงอยู่ ซึ่งความโปร่งแสงของกระจกนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกเหลวว่าบรรจุเข้มข้นอยู่มากน้อยเพียงใด

ผลิตภัณฑ์ของ 3M ได้ถูกใช้ในกระจกทางสถาปัตยกรรมโดยเฉพาะ โดย Viracon และ Marvin กระจก NCAP ขนาดใหญ่ได้ถูกสร้างขึ้นขนาด 1*2.5 นิ้ว และผลึกเหลวได้ถูกบรรจุไว้ในโพลิเมอร์แมทริกซ์ การประกอบโพลิเมอร์ถูกสร้างระหว่าง ITO สองแผ่นที่เคลือบ โพลีเอสเตอร์ (PET) ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอุปกรณ์นี้ก็สามารถสร้างจากกระจกแผ่นหนึ่งและพลาสติกแผ่นหนึ่งหรือว่าจากกระจกตัวนำทั้งสองแผ่น ผลการสลับสวิทซ์ของอุปกรณ์นี้จะครอบคลุมระยะทั้งหมดของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการดูดซึมของกระจก ในสภาวะปิด อุปกรณ์จะเป็นสีขาว เพราะว่าในสภาวะนี้ค่าการส่งผ่านจะไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อมีการจ่ายค่าสนามไฟฟ้า ผลึกเหลวจะทำการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ และทำให้กระจกโปร่งแสง โดยปกติแล้วอุปกรณ์เหล่านี้จะทำงานระหว่าง 60V ถึง 120 V AC (อาจน้อยลงในอนาคต) การใช้พลังงานน้อยกว่า 20 W/m² แต่ต้องการพลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้โปร่งแสงโดยทั่วไปเมื่อเทียบกับ EC การใช้พลังงานจะสูงกว่าผลึกเหลวเพราะต้องใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ค่าการส่งผ่านที่มองเห็นได้ในรูปครึ่งวงกลมสำหรับอุปกรณ์ 3M-PDLC จะอยู่ที่ $T_v(\text{off-on}) = 0.49-0.80$ และสัมประสิทธิ์การแรงจะอยู่ที่ $SC = 0.63-0.79$ และสามารถเพิ่มสีย้อมเพื่อทำให้อุปกรณ์ฟิล์มมืดขึ้นได้ในสภาวะปิด อุปกรณ์ผลึกเหลวแบบกระจายตัวนั้นดูเป็นไปได้ในอนาคต แต่ถูกจำกัดด้วยสามคุณลักษณะคือ ตอนปิดใช้งานจะทึบแสง ยังมีความขุ่นอยู่บ้างตอนเปิดใช้งาน (โปร่งใส) และความเสถียรต่อ UV ยังน้อยอยู่ และเนื่องจากการใช้ NCAP และ PDLC อย่างแพร่หลาย ราคาควรจะลดลงด้วยเช่นกัน และความเป็นไปได้ก็อย่างหนึ่งสำหรับกระจกก็คือ ผลึกเหลวชนิด guest-host ซึ่งมันจะใช้โมเลกุลสีรวมเข้ากับผลึกเหลว มันได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสำหรับการใช้แสดงผลเป็นหลัก แต่ถูกใช้งานสำหรับการใช้งานบานหน้าต่าง ผลึกเหลวชนิด guest-host มีความเป็นไปได้ที่จะถูกนำมาใช้ในการสวิตซ์ระดับพื้นที่ใหญ่ ซึ่งผลึกเหลวชนิดนี้การสลับเปลี่ยนจากการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้า มันถูกใช้งานตั้งแต่ระยะ 20-120 V AC ด้วยอัตราส่วนคมชัด 5 : 1 และไม่ได้ใช้การเป็นขั้ว ผลึกเหลวชนิดนี้ สามารถทนอุณหภูมิที่สูงขึ้นถึง 100 C จึงถูกเพื่อโดย Asulab ที่สวิตเซอร์แลนด์ สำหรับแว่นกันแดดและกระจกรถ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกที่ใช้ผลิตภัณฑ์นี้สามารถสับเปลี่ยนค่าการสะท้อนได้ตั้งแต่ $R7 = 0.48-0.12$ ในเวลา 15-360 ms สำหรับการเปิดและปิด นี่เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ในการพัฒนาเสถียรภาพทางเคมีไฟฟ้าและUV ของผลิตภัณฑ์

2.1.3 ฟิล์มชนิด Dispersed Particles

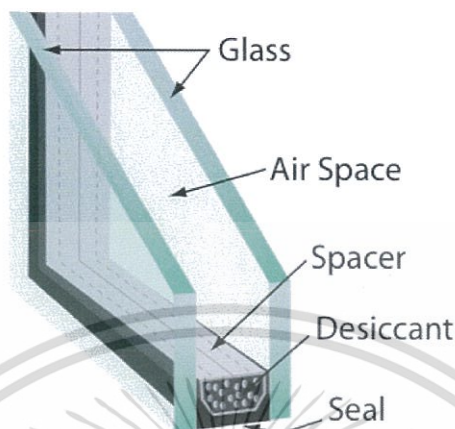
การพัฒนาอนุภาคแขวนลอยในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และกระจกได้แผ่ขยายเป็นเวลามากหลายปี บางส่วนของงานที่เก่าแก่ที่สุดก็มาจาก Edwin Land of Polaroid ในปี 1934 อุปกรณ์อนุภาคแขวนลอยประกอบไปด้วย ชั้นตั้งแต่ 3-5 ชั้น และชั้นที่ใช้งานจะถูกใส่ลงระหว่างตัวนำไฟฟ้าสองตัว ในสภาวะปิดอนุภาคจะกระจุกกระจายและดูดซับแสงไว้ เมื่อมีการใช้สนามไฟฟ้าอนุภาคเหล่านี้จะจัดเรียงตัวตามสนาม ทำให้การส่งผ่านเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปช่วงการส่งผ่านจะอยู่ที่ 20-60%, 10-50%, 0.1-10% ด้วยความเร็วสวิตชิง 100-200 ms แรงดันไฟฟ้าที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความหนาและระยะ 0-20 ไปจนถึง 150 Vac

การพัฒนาอนุภาคแขวนลอยได้ถูกชะลอลงเพราะปัญหาทางเทคนิคจำนวนมากรวมถึงความเสถียรระยะยาว รอบการใช้งาน การตกตะกอนของอนุภาคและการควบคุมช่องว่าง สำหรับกระจกขนาดใหญ่ ในปีที่ผ่านมา ปัญหาเหล่านี้ก็ได้ถูกแก้ไขและลดลง การพัฒนาเชิงพาณิชย์ของสิ่งนี้เพื่อสร้างพวกแว่นตา และกระจกหน้าต่างก็ทำได้สำเร็จโดย Research Frontiers, Inc. (RFI) (Plainview, NY) พร้อมสิทธิบัตร เร็วๆนี้ก็ได้ถูกนำไปใส่อนุภาคไว้ในแผ่นโพลีเมอร์ พวกหน้าต่าง 50 RFI (0.46 นิ้ว-0.46 นิ้ว) ได้ถูกใช้เป็นตัวอย่างในงาน Japan Steel Works Building (Fuchua, Japan) กลุ่มการค้าที่ทำงานเกี่ยวกับเรื่องนี้คือ Hankuk Glass Industries (Korea) , St. Gobain (Paris, France) สำหรับกระจกในสถาปัตยกรรม และ Sanyo Electric สำหรับแผ่นแสดงผล สำหรับกระจก DPS ชนิดอื่นๆ ก็ได้ถูกพัฒนาโดย Toyota Labs โดยการดัดแปลงอนุภาค ส่วน Gloverbel, S.A. (Brussels, Belgium) ก็กำลังพัฒนากระจกยานยนต์และกระจังหน้าอยู่ และสามารถทำได้หลายสีด้วย (เขียว ฟ้า แดง ม่วง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชนิดและประเภทของกระจก

2.2.1 กระจกอินซูลา (Insulated Glass)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกระจกอินซูลา (Insulated Glass)

กระจกอินซูลา หรือที่เรียกว่า IG unit ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อปรับปรุงเกี่ยวกับระบบความร้อนโดยจะช่วยในการกักเก็บความร้อน โดยจะผลิตขึ้นมาจากกระจกสองแผ่นขึ้นไปคั่นด้วยช่องอากาศ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะช่วยในแง่ทั้งการกักเก็บความร้อนในช่วงฤดูหนาวและกันความร้อนในช่วงฤดูร้อน

กระจกอินซูลามีผลในการช่วยลดการส่งผ่านความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามา ซึ่งขนาดของกระจกอินซูลาที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในช่วงนี้คือแบบขนาด กระจก 6 มม. ช่องอากาศ 12 มม. และกระจก 6 มม. โดยที่ตัวคั่นตรงกลางจะทำจากวัสดุอะลูมิเนียมพร้อมกับสารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นภายในกระจกอินซูลา นอกจากนั้นเนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง และยังเป็นตัวนำความร้อนที่ดีอีกด้วย ซึ่งในส่วนนี้จะช่วยเพิ่มความต่างของความร้อนระหว่างแกนกลางกระจกและขอบกระจก ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการรวมตัวและลดค่าสัมประสิทธิ์ U อีกด้วย

$$R_{tot} = \frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{t}{k_{eff}} + \frac{1}{h_i}$$

where

- R_{tot} = overall thermal resistance of a given edge seal ($W/(m^2K)$),
- U = overall thermal transmittance (m^2K/W)
- t = spacer thickness (m),
- h_o = outside heat transfer coefficient, $h_o = 30.0 W/(m^2K)$,
- h_i = inside heat transfer coefficient, $h_i = 8.0 W/(m^2K)$.

รูปที่ 2.3 สมการในการหาระยะช่องว่างที่เหมาะสมของกระจกอินซูลา

ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของกระจกอินซูลेटที่ดีกว่ากระจกปกติเพียงบานเดียวคือเมื่อประกอบด้วยกระจก 2 แผ่นขึ้นไปจะช่วยในการลดมลภาวะทางเสียงได้ถึงประมาณ 25-38 เดซิเบล ซึ่งอาจลดมลภาวะได้มากกว่าที่บอกดังกล่าวหากเปลี่ยนอากาศตรงช่องอากาศเป็นธาตุอาร์กอน ซึ่งมีคุณสมบัติที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศปกติ

DOUBLE GLAZING

:

GLAZE	FOIL	THICKNESS	GAS	NOISE REDUCTION (dB)
4/16/4		24.00	Argon	31
4/15/5		24.00	Argon	35
4/14/6		24.00	Argon	35
4/12/8		24.00	Argon	36
6/12/6		24.00	Argon	33
6/12/33.1	PVB	24.00	Argon	34

รูปที่ 2.4 ความสามารถในการลดมลภาวะทางเสียงของกระจกอินซูลेट

2.2.2 กระจกเขียวตัดแสง (Tinted Glass or Heat Absorbed Glass)

ที่ตัวผลิตภัณฑ์กระจกสีจะถูกผลิตขึ้นโดยกระจกปกติที่ผสมส่วนของโลหะออกไซด์เข้าไปในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งอาจจะมีสีแต่ละสีแตกต่างกันออกไปเช่น สีบรอนซ์ สีเขียว สีฟ้า หรือสีเทา แต่สีเหล่านี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติพื้นฐานของกระจก เว้นเสียแต่ค่าสัมประสิทธิ์การผ่านของความร้อนจากแสงอาทิตย์

กระจกส่วนใหญ่ที่ผลิตขึ้นมาจะมีโลหะออกไซด์ผสมอยู่ในปริมาณที่น้อย ซึ่งปกติจะเป็นสีเขียว ถ้าหากเป็นสีเทาจะเป็น โคบอลต์ และสีบรอนซ์จะเป็นเซลเนียม ซึ่งสีที่กล่าวมาดังกล่าวมักจะเป็นสีแบบอ่อนๆ เพื่อจะได้มีค่าสัมประสิทธิ์การผ่านของแสงที่มากพอเหมาะ ในปกติจะไม่ค่อยมีการใช้สีเข้มๆ ในการสร้างอันเนื่องมาจากจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การผ่านของแสงมีค่าน้อย

ซึ่งคุณสมบัติของกระจกชนิดนี้จะสามารถใช้ในการลดแสงและความร้อนได้ดีในระดับหนึ่งขึ้นกับชนิดสีที่ถูกผลิต โดยกระจกสีเขียวจะเป็นสีที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะในการเลือกสีกระจกนั้นมีสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาอยู่ด้วยซึ่งก็คือ ค่าการส่องผ่านของแสง และค่าการส่งผ่านของความร้อน ซึ่งสีเขียวนั้นถือได้ว่าเป็นสีที่มีค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองนี้ อยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าเหมาะสมที่สุด นั่นหมายถึง มีค่าการส่องผ่านความร้อนและค่าการมองเห็นรวมถึงความผิดเพี้ยนของสีเมื่อมองผ่านกระจกไม่มากนักไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compare		Substrate		Transmission %			Reflectivity %			U-Value			Relative Heat Gain SHGC LSG		
Exterior Appearance	Product	Outboard	Inboard	Visible Light	UV	Solar Energy	Vis- Out	Vis- In	Solar Energy	Winter Night Argon	Winter Night Air	Summer Day Air	Relative Heat Gain	SHGC	LSG
☐ Clear	SuperNeutral 68	Clear	Clear	68	30	33	11	12	33	0.25	0.29	0.28	90	0.38	1.80
☐ Green	SuperNeutral 68 (#3)	Green	Clear	58	15	24	10	10	10	0.25	0.29	0.28	84	0.35	1.64
☐ Dark Green	SuperNeutral 68 (#3)	TwilightGreen	Clear	51	9	20	9	10	7	0.25	0.29	0.28	73	0.30	1.68
☐ Light Gray	SuperNeutral 68 (#3)	CrystalGray	Clear	48	17	23	9	10	17	0.25	0.29	0.28	84	0.35	1.38
☐ Blue	SuperNeutral 68 (#3)	CrystalBlue	Clear	44	19	23	8	10	22	0.25	0.29	0.28	84	0.35	1.26
☐ Bronze	SuperNeutral 68 (#3)	Bronze	Clear	41	12	20	7	9	15	0.25	0.29	0.28	75	0.31	1.31
☐ Gray	SuperNeutral 68 (#3)	Gray	Clear	34	13	18	7	9	17	0.25	0.29	0.28	72	0.30	1.16

รูปที่ 2.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญของกระจกสีต่างๆกัน

2.3 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานที่ใช้ในวงจรกำลังของกระจกอัจฉริยะ

2.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ที่มีความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งสู่อีกวงจรหนึ่งโดยไม่มี ความจำเป็น ต้องมีการสัมผัสกันโดยตรง เพราะใช้การเหนี่ยวนำระหว่างทั้งสองขดลวดแทน ซึ่งทำให้สามารถแปลงพลังงานจากวงจรหนึ่งสู่อีกวงจรหนึ่งได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนค่าความถี่และทั้งยังสามารถเลือก ระดับแรงดันที่ออกสู่วงจรที่สองได้อีกด้วย ถ้าหากปรับค่ากระแสไฟฟ้า ในขดลวดก็จะสามารถปรับสร้างค่าสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันได้ด้วย ซึ่งพลังงานที่ผ่านจากวงจรปฐมภูมิสู่ทุติยภูมิก็ผ่านได้โดยสนามแม่เหล็กดังกล่าว

2.3.1.1 หลักการทำงานของหม้อแปลง

การทำงานของหม้อแปลงนั้นจะมีฐานแนวคิดมาจากกฎการเหนี่ยวนำของ ไมเคิล ฟาราเดย์ และสามารถกำหนดพฤติกรรมของหม้อแปลงได้จาก ขดลวดที่ใช้พันรอบในหม้อแปลง ซึ่งกฎของ ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้กล่าวเอาไว้ว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวนำในสนามแม่เหล็กและก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในตัวนำนั้นด้วย รวมถึง กฎที่ว่า ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กอีกด้วย โดยถ้าหากสนามแม่เหล็กเดียวกันนั้นเกี่ยวข้องกับขดลวดฝั่งปฐมภูมิและทุติยภูมิไว้ด้วยกันแล้ว ก็จะสามารถส่งผ่านพลังงานทางไฟฟ้าระหว่างวงจรได้โดยไม่ต้องสัมผัสกันทางโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ชนิดของหม้อแปลงในเชิงปริมาณแรงดันไฟฟ้า

1. Step-up Transformer

ใน Step-up Transformer นั้น จะมีจำนวนรอบที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมิมากกว่าจำนวนรอบที่ฝั่งปฐมภูมิ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ ระดับแรงดันที่จ่ายออกมาจากฝั่งทุติยภูมิมีค่าที่มากกว่าฝั่งปฐมภูมิ แต่ในทางกลับกัน ทางด้านฝั่งทุติยภูมิก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่น้อยกว่าฝั่งปฐมภูมิด้วยเช่นกัน

2. Step-down Transformer

ใน Step-down Transformer นั้น จะมีจำนวนรอบที่ขดลวดฝั่งทุติยภูมิน้อยกว่าจำนวนรอบที่ฝั่งปฐมภูมิ จึงก่อให้เกิด ระดับแรงดันที่ฝั่งปฐมภูมินั้นมีค่าที่มากกว่าฝั่งทุติยภูมิ และในขณะเดียวกัน ปริมาณกระแสไฟฟ้าทางฝั่งของทุติยภูมิก็จะมีปริมาณที่มากกว่าของฝั่งปฐมภูมิด้วยเช่นเดียวกัน

3. Tap-change Transformer

จุดมุ่งหมายในการสร้าง Tap-change Transformer คือ เพื่อที่จะควบคุมระดับแรงดันด้านขาออกของหม้อแปลง ซึ่งสามารถกระทำได้โดย ปรับจำนวนรอบของขดลวดหรือเปลี่ยนอัตราส่วนการพันรอบหม้อแปลง ทั้งยังสามารถกำหนดจุดจ่ายแรงดันเข้าหรือออกได้มากกว่าหนึ่งจุด ทั้งฝั่งปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ได้อย่างอิสระ

2.4 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรกำลังของกระจกอัจฉริยะ

2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (หรือ MCU สำหรับ microcontroller unit) เป็นสองกลขนาดเล็กที่อยู่ในวงจรรวมแบบเดียว ซึ่งจะมีตัวซีพียู (processor core) อยู่หนึ่งหรือมากกว่า พร้อมด้วยหน่วยความจำและช่องอินพุตและเอาต์พุต ไมโครคอนโทรลเลอร์มักจะถูกใช้ในงานประเภทควบคุมระบบเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ เช่นระบบควบคุมเครื่องยนต์ของพาหนะ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆอีกมากมาย ด้วยการลดขนาด และเทียบกับราคาของไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ และ ช่องอินพุตและเอาต์พุตแบบแยกแล้ว จะมีราคาที่คุ้มค่าน่ามากกว่า ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นที่นิยมใช้ในการควบคุมอุปกรณ์อย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่างๆ

ไมโครคอนโทรลเลอร์บางประเภทอาจจะใช้ คำสั่ง 4 บิต และเปิดใช้งานที่ความถี่ต่ำประมาณ 4 กิโลเฮิร์ต สำหรับแบบที่ใช้กำลังไฟต่ำ (ในหน่วยมิลลิวัตต์หรือไมโครวัตต์) โดยปกติแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีความสามารถในการรักษาฟังก์ชันการทำงานไว้ได้ในขณะที่รอเหตุการณ์ที่กำหนดอยู่เช่น การกดปุ่มหรือการขัดจังหวะแบบอื่นๆ ซึ่งการใช้ไฟในขณะที่อยู่ในสถานะหลับ (ซีพียูคล็อกและส่วนอื่นๆส่วนมากปิดการใช้งาน) อาจกินไฟน้อยถึงหลักนาโนวัตต์ ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เหมาะสำหรับการใช้งานที่ยาวนาน

2.4.1.1 อาร์ดูโน (Arduino)

Arduino เป็นแพลตฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์แบบโอเพนซอร์สบนพื้นฐานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน บอร์ด Arduino สามารถอ่านข้อมูลอินพุตได้เช่นแสงไฟบนเซ็นเซอร์และเปลี่ยนเป็นสัญญาณเอาต์พุตเช่น เปิดใช้งานมอเตอร์ หรือ เปิดไฟ LED คุณสามารถกำหนดให้บอร์ดว่าจะทำงานอย่างไรโดยส่งชุดคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด ในการทำเช่นนี้คุณต้องใช้ภาษาการ

เขียนโปรแกรม Arduino ขึ้นอยู่กับวงจร และ Arduino Software (IDE) ขึ้นอยู่กับกระบวนการทำงาน ประมวลผล

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา Arduino ถูกใช้กับโครงการนับพัน จากชิ้นงานทั่วไป ไปจนถึง เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน กลุ่มผู้ผลิต นักศึกษา โปรแกรมเมอร์ และผู้เชี่ยวชาญ ต่างให้ความสนใจต่อแพลตฟอร์มโอเพนซอร์สนี้ และได้เพิ่มข้อมูลความรู้ต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เริ่มต้นใหม่และผู้เชี่ยวชาญ

Arduino ถูกสร้างขึ้นที่ Ivrea Interaction Design Institute เป็นเครื่องมือที่ง่ายสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่รวดเร็วและมุ่งเป้าไปที่นักเรียนที่ไม่มีพื้นฐานในด้านอิเล็กทรอนิกส์และการเขียนโปรแกรม

ทันทีที่เข้าถึงชุมชนที่เป็นวงกว้างขึ้น บอร์ด Arduino จึงเริ่มปรับตัวเข้ากับความต้องการใหม่ๆ เริ่มจากบอร์ด 8 บิตอย่างง่ายไปสู่การใช้งานสำหรับแอปพลิเคชัน IoT, อุปกรณ์สวมใส่, การพิมพ์แบบ 3D และแบบฝังในอุปกรณ์

บอร์ด Arduino ทั้งหมดเป็นโอเพนซอร์สเต็มรูปแบบทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างได้อย่างอิสระและปรับให้เข้ากับความต้องการเฉพาะทางของตนได้ ซอฟต์แวร์นี้เป็นโอเพนซอร์สและมีการเติบโตอย่างมากจากการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ทั่วโลก

ด้วยประสบการณ์การใช้งานที่เรียบง่ายและสามารถเข้าถึงได้ Arduino จึงถูกนำมาใช้ในโครงการและแอปพลิเคชันที่แตกต่างกันหลายพันรายการ ซึ่งง่ายต่อการใช้งานสำหรับผู้เริ่มต้น และยังมี ความยืดหยุ่นที่เพียงพอสำหรับผู้ใช้ขั้นสูง บอร์ด Arduino สามารถทำงานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Mac, Windows และ Linux ตัวอย่างเช่น ครูและนักเรียนใช้ในการสร้างเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ต้นทุนต่ำ เพื่อใช้ในการพิสูจน์หลักการทางเคมีและฟิสิกส์หรือเพื่อเริ่มต้นการเขียนโปรแกรมสำหรับหุ่นยนต์

มีไมโครคอนโทรลเลอร์และแพลตฟอร์มไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ ที่มีอยู่สำหรับการคำนวณทางกายภาพ เช่น Parallax Basic Stamp, BX-24 ของ Netmedia, Phidgets, Handyboard ของ MIT และอื่น ๆ อีกมากมายซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานที่คล้ายคลึงกัน เครื่องมือทั้งหมดเหล่านี้ใช้รายละเอียดที่ยุงยากของโปรแกรมควบคุมไมโครโพนและออกแบบไว้ในแพคเกจที่ทำให้ดูว่าง่ายต่อการใช้งาน Arduino ยังช่วยลดความยุ่งยากในการทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ก็มีข้อดีสำหรับครู นักเรียนนักศึกษาและนักวิชาชีพที่สนใจในระบบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ราคาไม่แพง - บอร์ด Arduino มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับแพลตฟอร์มไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ
- Cross-platform – โปรแกรม Arduino สามารถทำงานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ Mac, Windows และ Linux ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่จะถูก จำกัด ไว้ที่ Windows
- ความง่าย และ ชัดเจน - Arduino Software (IDE) ใช้งานง่ายสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน และก็มี ความยืดหยุ่นพอสำหรับผู้ใช้นขั้นสูง
- ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สและโปรแกรมส่วนขยาย - ซอฟต์แวร์ Arduino ถูกเผยแพร่เป็นเครื่องมือ โอเพนซอร์สซึ่งพร้อมส่วนขยายเพิ่มเติมโดยโปรแกรมเมอร์ที่มีประสบการณ์ ภาษาสามารถเพิ่ม ชุดคำสั่งผ่าน C++ library และผู้ที่ต้องการทำความเข้าใจรายละเอียดทางเทคนิคสามารถข้าม จาก Arduino ไปเป็นภาษาโปรแกรม AVR-C ในทำนองเดียวกันคุณสามารถเพิ่มโค้ด AVR-C ลง ในโปรแกรม Arduino ได้โดยตรงหากต้องการ
- ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สและฮาร์ดแวร์ส่วนขยาย – โครงสร้างของบอร์ด Arduino ได้รับการ เผยแพร่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Creative Commons ดังนั้นนักออกแบบวงจรที่มีประสบการณ์จึง สามารถสร้างโมดูลรุ่นของตนเองขยายและปรับปรุงได้

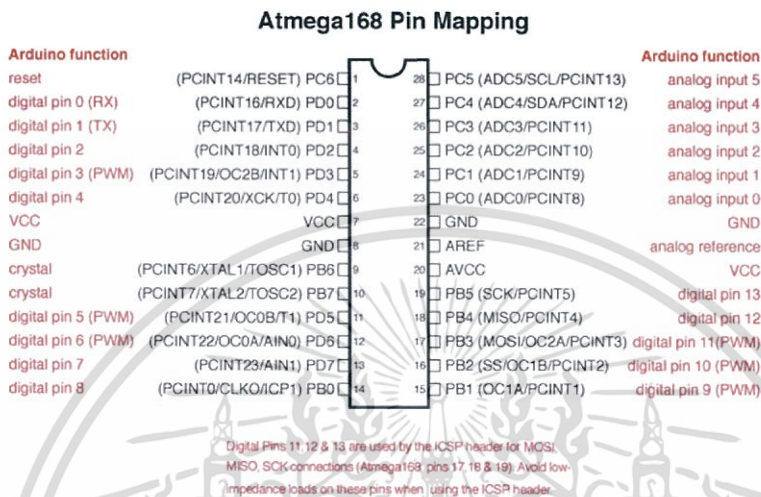
2.4.1.1.1 Arduino UNO Rev3



รูปที่ 2.7 บอร์ด Arduino Uno Rev3

UNO เป็นบอร์ดที่ดีที่สุดสำหรับการเริ่มต้นการใช้งานสำหรับโปรแกรมและอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ถ้าเป็นครั้งแรกสำหรับคุณนั้น บอร์ด UNO ก็ถือเป็นบอร์ดที่เป็นที่นิยมที่สุดในตระกูล Arduino ทั้งหมด

Arduino Uno เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ ATmega328P มีอินพุต / เอาต์พุต 14 ช่อง มีการต่อ USB แจ็คไฟ และปุ่มรีเซ็ต และทุกสิ่งที่เป็นสำหรับ การสนับสนุนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงแค่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้อะแดปเตอร์ AC-to-DC หรือแบตเตอรี่เพื่อเริ่มต้นใช้งาน



รูปที่ 2.8 ATmega168/328-Arduino Pin Mapping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 Specified ของ Arduino UNO Rev3

Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Arduino Uno สามารถตั้งโปรแกรมด้วย (Arduino Software (IDE)) เลือก "Arduino / Genuino Uno จากเมนู Tools> Board (ตามไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่บนบอร์ดของคุณ)

Arduino Uno มี polyfuse แบบรีเซ็ตซึ่งช่วยปกป้องพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ของคุณจากการลัดวงจรและกระแสไฟเกิน ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะมีการป้องกันภายในของตัวเองซึ่งจะมีฟิวส์ที่มีการป้องกันเพิ่มเติม หากใช้พอร์ต USB มากกว่า 500 mA ฟิวส์จะทำการตัดการเชื่อมต่อโดยอัตโนมัติจนกว่าจะมีการถอดหรือลัดวงจร

บอร์ด Arduino Uno สามารถใช้งานได้ผ่านการเชื่อมต่อ USB หรือมีแหล่งจ่ายไฟภายนอก แหล่งจ่ายไฟจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟภายนอก (non- USB) อาจมาจากอะแดปเตอร์ AC-to-DC (wall wart wart) หรือ แบตเตอรี่ อะแดปเตอร์สามารถเชื่อมต่อได้โดยเสียบปลั๊ก 2.1 มม. ตรงกลางเข้ากับช่องเสียบไฟของบอร์ด ตะกั่วจากแบตเตอรี่สามารถแทรกลงในส่วนหัวของ GND และ Vin pin ของขั้วต่อ POWER

บอร์ดสามารถทำงานได้กับแหล่งจ่ายไฟภายนอกตั้งแต่ 6 ถึง 20 โวลต์ หากจ่ายแรงดัน นานน้อยกว่า 7V ขา 5V อาจมีกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 5 โวลต์และบอร์ดอาจไม่เสถียร หากใช้มากกว่า 12V ตัวควบคุมแรงดันอาจร้อนมากเกินไปและทำให้บอร์ดเสียหาย ดังนั้นช่วงที่แนะนำคือ 7 ถึง 12 โวลต์ ขาของบอร์ดมีดังต่อไปนี้

- Vin -แรงดันไฟฟ้าเข้ากับบอร์ด Arduino / Genuino เมื่อใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอก (เมื่อเทียบกับ 5 โวลต์จากการเชื่อมต่อ USB หรือแหล่งจ่ายไฟอื่น ๆ ที่มีการควบคุม) คุณสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านขา Vin หรือหากจ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่านช่องเสียบไฟให้ใช้ผ่านขา Vin
- 5V - ขานี้จะส่งผลให้มีการควบคุม 5V ออกจากตัวควบคุมบนบอร์ด บอร์ดสามารถรับพลังงานได้ทั้งจากปลั๊กไฟ DC (7 - 12V), ช่องเสียบ USB (5V) หรือสลัก VIN ของบอร์ด (7-12V) การจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังขา 5V หรือ 3.3V จะบายพาสตัวควบคุมและอาจทำให้บอร์ดของคุณเสียหายได้ ซึ่งไม่แนะนำให้ทำ
- 3V3 - แหล่งจ่ายไฟ 3.3 โวลต์ที่สร้างขึ้นโดยตัวควบคุมบนกระดาน กระแสสูงสุดที่ดึงได้คือ 50 mA
- GND - ขากราวด์
- IOREF - ขานี้อยู่บนบอร์ด Arduino / Genuino ให้แรงดันอ้างอิงที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ทำงาน การกำหนดค่าอย่างถูกต้อง สามารถอ่านแรงดันที่ขา IOREF และเลือกแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสม หรือเปิดใช้งานเครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตให้ทำงานได้กับ 5V หรือ 3.3V

ATmega328 มีขนาด 32 กิโลไบต์ (มีหน่วยความจำ 0.5 กิโลไบต์) นอกจากนี้ยังมี SRAM ขนาด 2 กิโลไบต์และ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์ (ซึ่งสามารถอ่านและเขียนได้ด้วย EEPROM library)

ดูที่ แผนผังพอร์ตของ ATmega328P ของขา Arduino ผังสำหรับ Atmega8, 168 และ 328 จะใช้เหมือนกัน

ขาดีจิทล์ 14 ขาแต่ละขานั้นจะสามารถถูกใช้เป็น อินพุตหรือเอาต์พุต โดยใช้คำสั่ง `pinMode()`, `digitalWrite()`, และ `digitalRead()` functions ซึ่งขาพวกนี้จะทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ และขาแต่ละตัวจะสามารถรับและจ่ายที่ระดับกระแส 20mA ตามคำแนะนำ และมีตัวต้านทานภายใน(ปกติจะไม่ได้ต่อ)ที่สามารถต่อเข้าไป ถึง 20-50k โอห์ม แต่ห้ามเกิน 40mA เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

นอกจากนี้ ขาบางขาที่มีฟังก์ชันการทำงานแบบเฉพาะด้วย

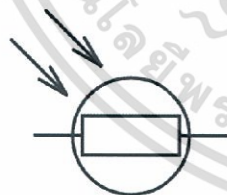
- Serial: 0 (RX) และ 1 (TX) ใช้เพื่อรับ (TX) และส่ง (TX) ข้อมูลอนุกรมของ TTL ซึ่งขาเหล่านี้จะถูกเชื่อมต่อกับขาที่สอดคล้องกันของ ชิพ ATmega8U2 USB-to-TTL อนุกรม
- External Interrupts: 2 และ 3 ขาเหล่านี้จะสามารถถูกตั้งค่าให้ส่งกระตุ้นให้ขัดตอนที่เกิดขอบค่าต่ำ ค่าขอบเพิ่มหรือลดลง หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, และ 11 จะให้ค่า PWM เอาต์พุต 8 บิต ด้วยคำสั่ง `analogWrite()`
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) ขาเหล่านี้จะช่วยในการติดต่อกับ SPI โดยใช้ SPI library
- LED: 13 จะมี LED ในตัวที่ขับเคลื่อนด้วยขาที่ 13 เมื่อขามีค่าสูง LED จะเปิด เมื่อ มีค่าต่ำ LED จะปิด
- TWI: ขา A4 หรือ SDA และขา A5 หรือ SCL จะช่วยในการติดต่อแบบ TWI โดยใช้ Wire library
- Uno มีส่วนอะนาล็อก 6 ขา โดยชื่อ A0 ถึง A5 ซึ่งมีความละเอียด 10 บิต (เช่น ค่าที่แตกต่างกัน 1024 ค่า) โดยปกติแล้วจะวัดจากสายดินถึง 5 V ถึงแม้ว่าจะสามารถเปลี่ยนค่าช่วงบนได้โดยใช้ขา AREF และคำสั่ง `analogReference()` ได้ก็ตาม ซึ่งมีขาอื่นๆอยู่บนบอร์ดด้วยคือ
- AREF แรงดันอ้างอิงสำหรับอนาล็อกอินพุต จะใช้กับคำสั่ง `analogReference()`
- Reset. Bring this line LOW to reset the microcontroller มักจะใช้เพื่อเพิ่มปุ่มรีเซ็ตเพื่อป้องกัน การปิดกั้นของขาในบอร์ด

2.4.2 ตัวตรวจจับแสง (Light Dependent Resistors)

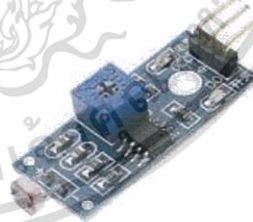
Photo resistors หรือที่เรียกกันว่า เซนเซอร์ปรับค่าตามแสง (Light Dependent Resistors) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับแสงเพื่อป้องกันปริมาณความเข้มของแสงที่เกิดขึ้น ในสภาวะที่มีดสนิทนั้นค่าความต้านทานของเซนเซอร์จะมีค่าที่สูงมาก อาจมีค่ามากถึง 1 เมกะโอห์ม แต่เมื่อตัวเซนเซอร์กระทบกับแสงที่เต็มทีค่าความต้านทานก็จะลดลง อาจเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงที่ตัวเซนเซอร์วัดได้ การแปรเปลี่ยนของตัวเซนเซอร์นี้จะไม่ใช่ในแบบเชิงเส้น เซนเซอร์ชนิดนี้ถูกใช้ในงานหลายรูปแบบ แต่บางประเทศก็ไม่นิยมที่จะใช้อันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้สร้าง เช่น ตะกั่ว หรือ แคดเมียม เพราะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

หลักการทำงานของเซนเซอร์ LDR จะคล้ายๆแบบตัวนำ กล่าวคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวเซนเซอร์ ความเป็นตัวนำจะมากขึ้น อิเล็กตรอนที่แถบวงนอกจะถูกกระตุ้นเข้าสู่แถบตัวนำ ซึ่งการที่จะเกิดนั้น พลังงานจากโฟตอนแสงจะต้องมีค่ามากกว่าที่จะช่องว่างของตัวนำเพื่อให้อิเล็กตรอนย้ายจากแถบวงนอกเข้าสู่แถบตัวนำ ผลลัพธ์จากกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดค่ากระแสที่มากขึ้นตามไปด้วย จึงกล่าวได้ว่าเมื่อแสงตกกระทบมากขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานน้อยลงไปด้วย

การใช้งาน LDR นั้นหลากหลายชนิดมาก ถ้าหากเป็นแบบ แคดเมียมซัลไฟด์ที่ราคาไม่แพงนักก็สามารถพบได้ตามกล่องที่มีตัววัดแสง อุปกรณ์แจ้งเตือน(ที่ใช้ตรวจจับแสง) หรือกระทั่งไฟถนนแบบโซลาร์เซลล์ที่ทำงานร่วมกับตัววัดแสงเพื่อการประหยัดพลังงาน



รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์ของ LDR



รูปที่ 2.10 Module ของ LDR

2.4.3 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED)

ไดโอดเปล่งแสง หรือ light-emitting diode (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงชนิดสารกึ่งตัวนำแบบสองแหล่ง โดยตัวไดโอดจะเปล่งแสงออกมาเมื่อถูกใช้งาน เมื่อมีการจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม ตัวอิเล็กตรอนจะสามารถกลับเข้ามารวตัวกับหลุมอิเล็กตรอนภายในตัวอุปกรณ์ได้ และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปโฟตอน ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Electroluminescence (EL) ซึ่งหมายถึงการที่วัสดุเปล่งแสงนั้นตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไปมาหรือสนามไฟฟ้าที่รุนแรง และสีของแสงที่เปล่งออกมาจะถูกกำหนดโดยระยะห่างช่องว่างพลังงาน (energy band gap) ของตัวนำ โดยทั่วไปแล้ว LED มักจะถูกใช้เป็นตัวบ่งบอกสถานะเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือใช้งานแทนหลอดไฟขนาดเล็ก หรืออาจจะถูกใช้งานเป็นจำนวนมากเป็นบอร์ดแสดงตัวเลขแบบ seven-segment เช่นในนาฬิกาดิจิตอล ซึ่งไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาตัวไดโอดเปล่งแสงให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมและเรื่องการใช้งานแสง ทำให้ตัวไดโอดเปล่งแสงมีบทบาทในแง่การแสดงผลและตัวเซนเซอร์ และด้วยอัตราเร็วในการสวิตซ์จึงเป็นประโยชน์ในเทคโนโลยีระดับสูงขึ้นไปอีกได้ และยังมีข้อดีอีกหลายอย่างที่เหนือกว่าหลอดไฟธรรมดา เช่น การใช้ไฟในปริมาณที่ต่ำ อายุการใช้งานยาวนาน มีขนาดเล็กและความทนทานที่สูง จึงถูกใช้ในงาน เช่น ไฟบังคับหอการบิน ไฟหน้าของยานพาหนะ สัญญาณไฟจราจร



รูปที่ 2.11 ลักษณะของตัว LED

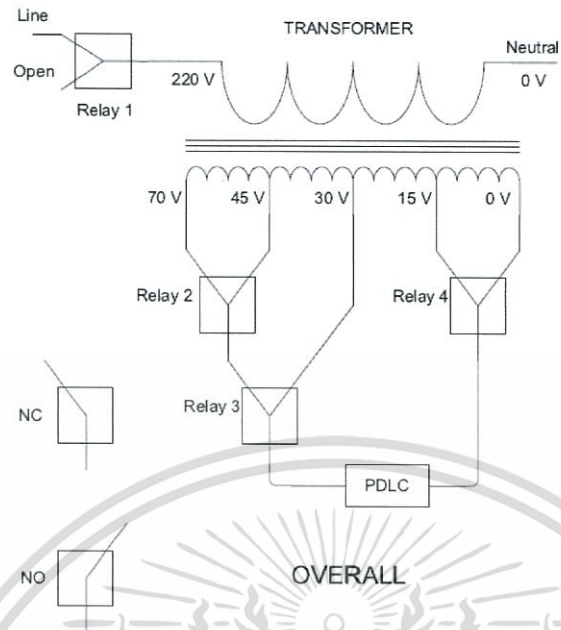
บทที่ 3

การออกแบบ ทดสอบและสร้างระบบการทำงานของกระจกอัจฉริยะ

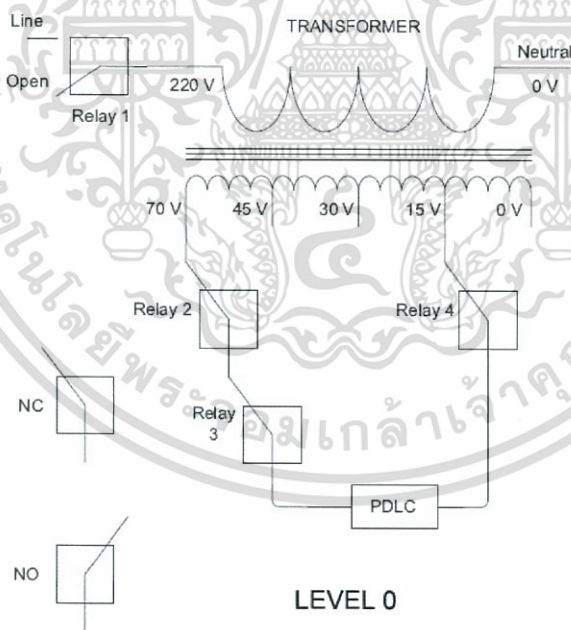
3.1 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันกระแสสลับ

การทำการออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการเปลี่ยนระดับแรงดันที่จะจ่ายไปยังแผ่นฟิล์มอัจฉริยะ จากที่ได้ทราบกันอยู่แล้วว่าฟิล์ม PDLC นั้นทำงานในช่วงแรงดันกระแสสลับที่แรงดัน 0 – 80 โวลต์ ในการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ทำงานโดยการตัดต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างหม้อแปลงปรับระดับแรงดันชนิด Tap change กับฟิล์ม PDLC โดยมีโมดูลรีเลย์ ขณะเดียวกันก็จะใช้เซ็นเซอร์รับแสงในการกำหนดระดับแรงดันด้วยเช่นกันสำหรับการทำงานแบบอัตโนมัติผ่านการรับค่าความเข้มแสงภายนอกเป็นค่าเทียบระดับ

หม้อแปลงที่ใช้เป็นชนิดแกน EI ขนาด 76H สำหรับกระแสสลับความถี่ต่ำหรือที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ กำลังไฟ 50W แรงดันปฐมภูมิ 220 โวลต์และแรงดันทุติยภูมิ 70-45-30-15-0 โวลต์ตามลำดับ ลักษณะการทำงานของวงจรแบ่งแรงดัน ที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันขาเข้าจะสามารถเลือกตำแหน่งเริ่มต้นที่ 70 45 และ 30 ตามลำดับ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง และแรงดันขาออกจะสามารถเลือกตำแหน่งปลายทางที่ 15 หรือ 0 ตามลำดับ ซึ่งจะทำได้ขนาดแรงดันกระแสสลับตกคร่อมฟิล์ม เท่ากับผลต่างของแรงดันขาเข้าและขาออก ซึ่งจากที่ได้ออกแบบมาสามารถให้แรงดันออกมาได้ 6 ระดับ คือ 0 15 30 45 55 และ 70 โวลต์ โดยจุดเริ่มต้นและจุดปลายจะถูกควบคุมผ่านโมดูลรีเลย์สี่ตัวชนิด active low หรือทำงานโดยการสับสวิทช์เมื่อจ่ายสัญญาณลอจิกต่ำเป็นตัวตัดต่อวงจรที่ถูกควบคุมโดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ออกแบบลักษณะการตัดต่อวงจรได้ดังต่อไปนี้

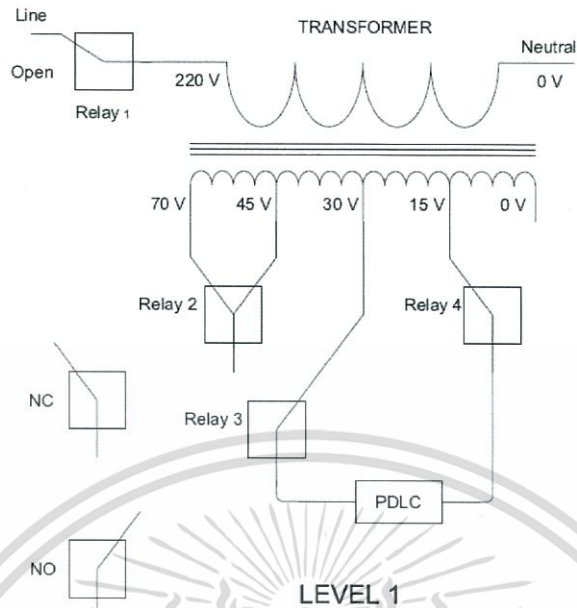


รูปที่ 3.1 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์โดยรวม

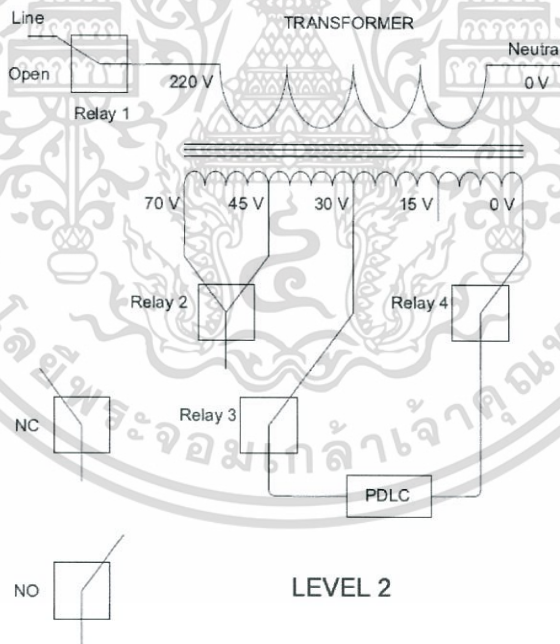


รูปที่ 3.2 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 0 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

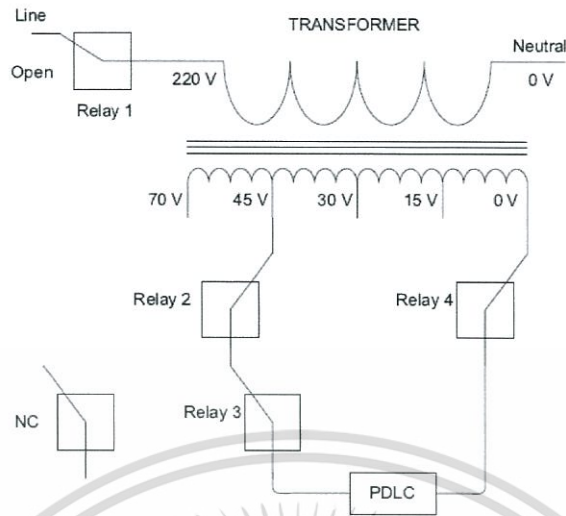


รูปที่ 3.3 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 15 โวลต์

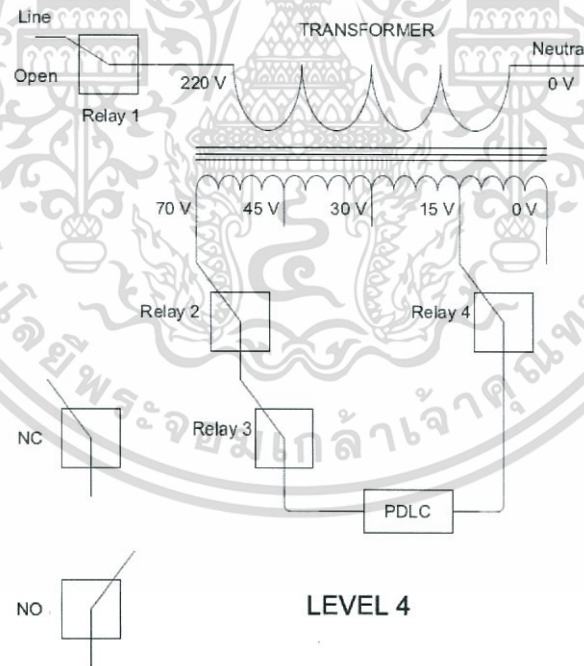


รูปที่ 3.4 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 30 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

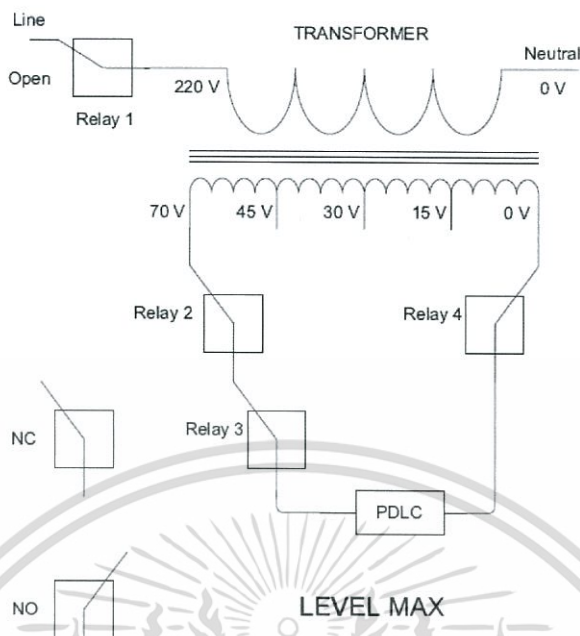


รูปที่ 3.5 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 45 โวลต์



รูปที่ 3.6 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 55 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์ที่ระดับแรงดัน 70 โวลต์

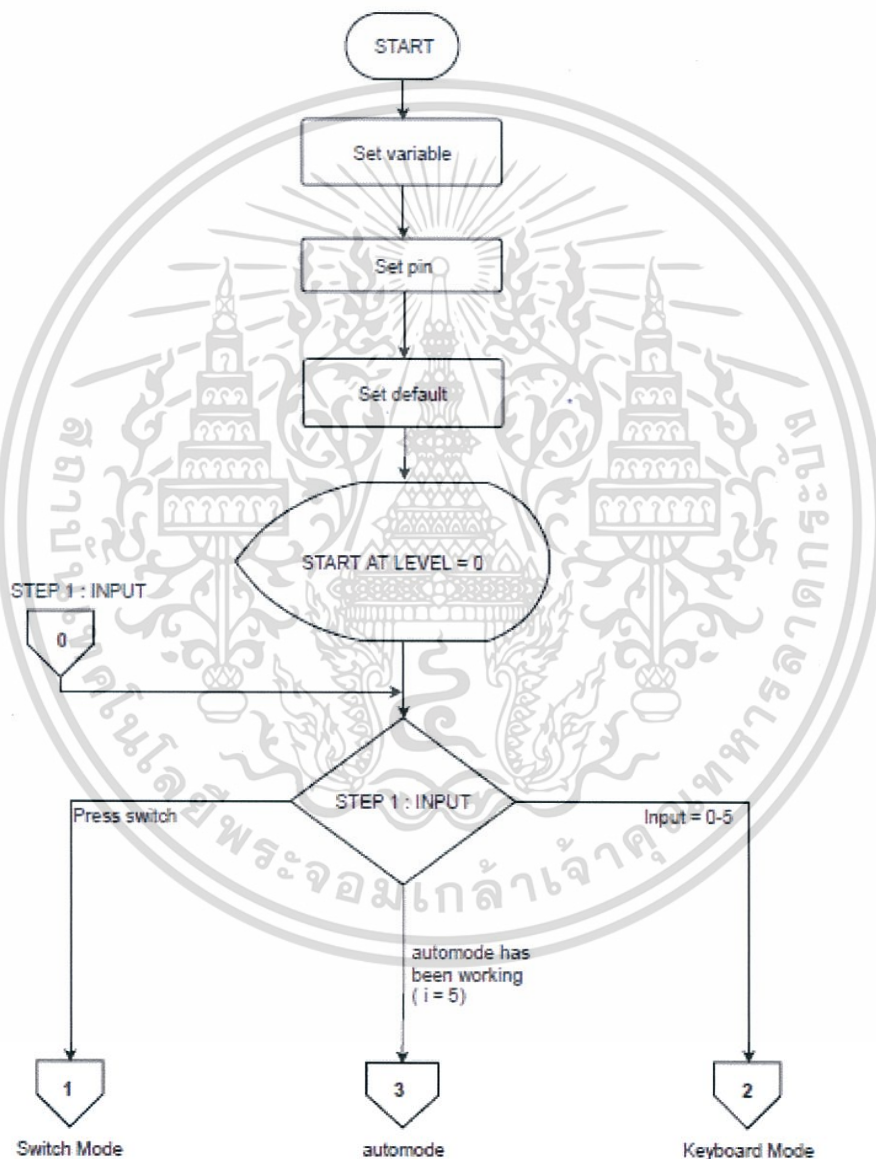
3.2 การออกแบบชุดคำสั่งการทำงานของฟิล์มอัจฉริยะเบื้องต้นในรูปแบบของโฟลว์ชาร์ตการทำงาน

เมื่อทำการออกแบบวงจรจ่ายกำลังไฟและกำหนดระดับแรงดันที่จะใช้เสิร์จลีน ขึ้นถัดไป คือสร้างชุดคำสั่งให้กับบอร์ดของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ชุดคำสั่งสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ผ่านการส่งสัญญาณอินพุตไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำการทำงานดังกล่าวนี้ไปใช้ในการควบคุมวงจรที่ใช้ในการจ่ายแรงดัน

ชุดคำสั่งดังกล่าวใช้สำหรับปรับระดับแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ตัวโหลดแผ่นฟิล์ม โดยผ่านกระบวนการรับอินพุตในแบบต่าง ๆ และนำค่าดังกล่าวมาเข้าสู่กระบวนการประมวลผลเพื่อกำหนดรูปแบบการทำงานรวมถึงการสร้างระบบการทำงานอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานในรูปแบบอัตโนมัติ จะเป็นการทำงานในรูปแบบของการตรวจสอบเงื่อนไข เพื่อสร้างการทำงานที่หลากหลายรวมถึงการป้องกันการเกิดปัญหาอันเนื่องมาจากการสร้างระบบการทำงานที่ผิดพลาด

ขั้นตอนการทำงาน

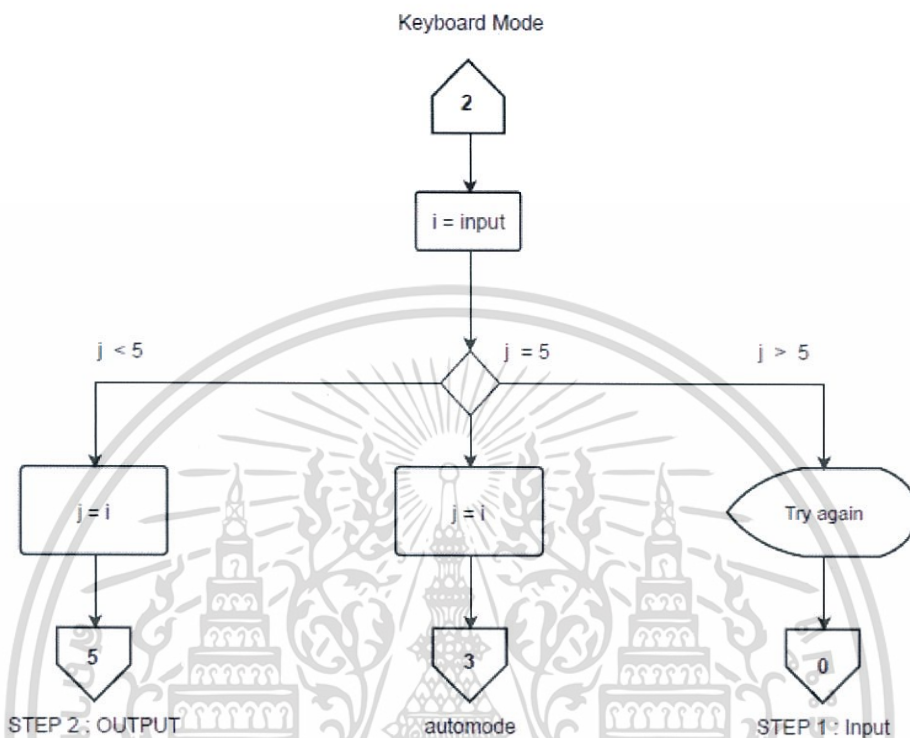
1. กำหนดตัวแปรและขาที่จะใช้ทำงาน
2. กำหนดช่วงรับคำสั่งการทำงานโดยรับค่าจาก 1.คีย์บอร์ด 2.สวิตช์เพิ่มระดับ 3. สวิตช์ลดระดับ 4. สวิตช์โหมดการทำงานอัตโนมัติ



รูปที่ 3.8 flowchart แสดงช่วงการกำหนดตัวแปรและรรับคำสั่งสวิตช์หรือจากคอมพิวเตอร์

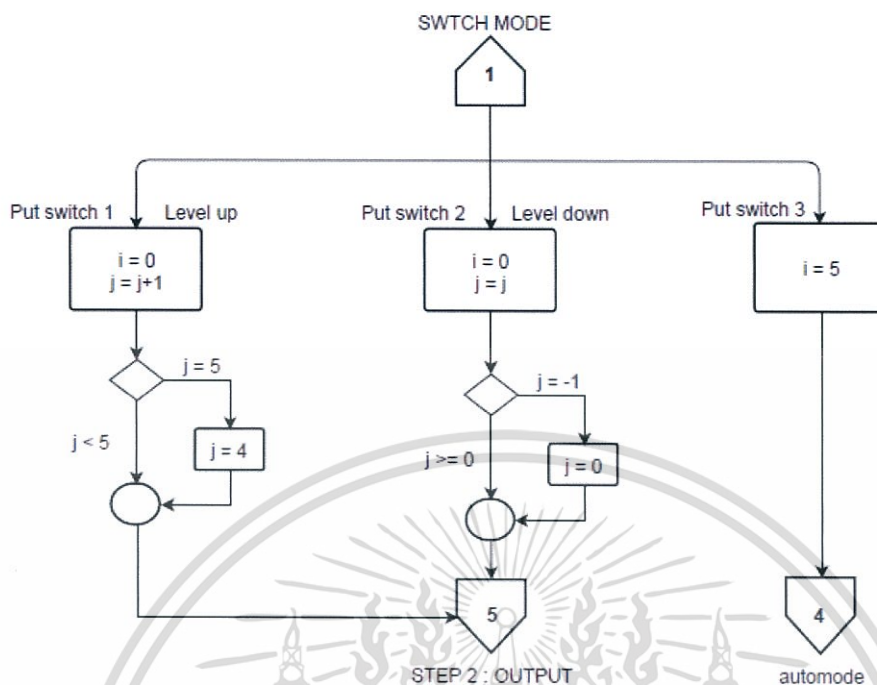
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หากกด 0-5 เข้าสู่ช่วงการทำงานรับค่าจากคีย์บอร์ดโดยเลข 0-4 จะเป็นเลขระดับของระดับแรงดันจะส่งค่าดังกล่าวไปยังช่วงแสดงผลและเลข 5 เป็นการเปิดโหมดปรับแรงดันอัตโนมัติ



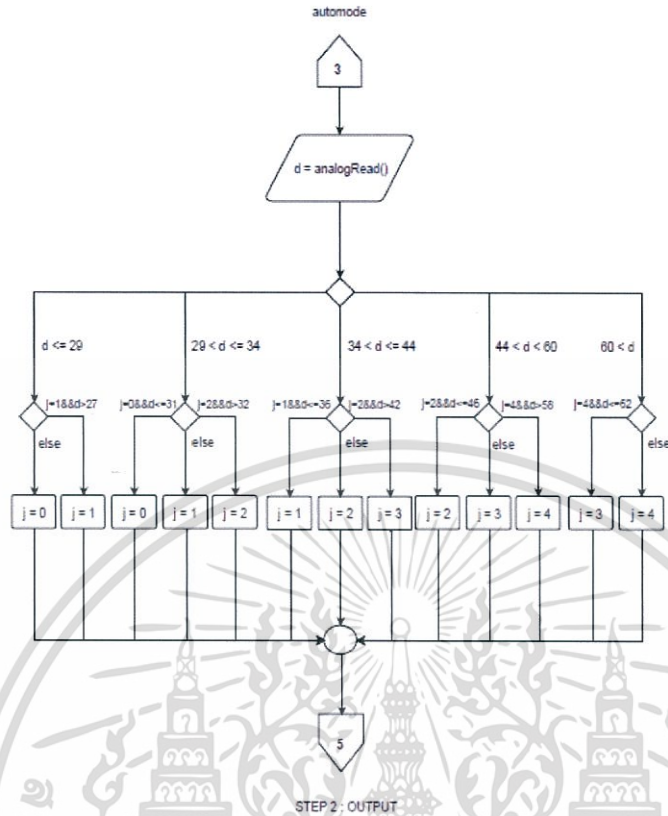
รูปที่ 3.9 flowchart แสดงการทำงานเมื่อส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์

4. ช่วงการรับค่าจากสวิตช์โดยจะใช้ยู่สามสวิตช์คือ
- 4.1. สวิตช์เพิ่มระดับโดยเมื่อกดสวิตช์ระดับของแรงดันจะเพิ่มขึ้นหนึ่งระดับแล้วส่งค่าระดับดังกล่าวไปยังช่วงแสดงผล หากระดับแรงดันอยู่ที่จุดสูงสุดหรือระดับสี่ ระดับแรงดันจะไม่เปลี่ยนแปลง
 - 4.2. สวิตช์ลดระดับโดยเมื่อกดสวิตช์ระดับของแรงดันจะลดลงหนึ่งระดับแล้วส่งค่าระดับดังกล่าวไปยังช่วงแสดงผล หากระดับแรงดันอยู่ที่จุดต่ำสุดหรือระดับศูนย์ ระดับแรงดันจะไม่เปลี่ยนแปลง



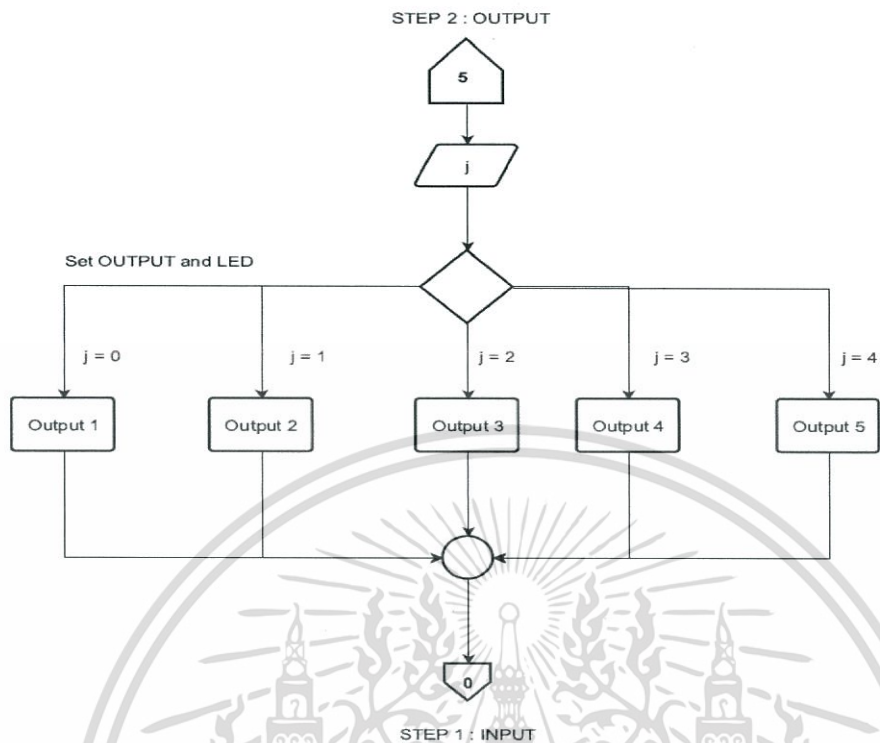
รูปที่ 3.10 flowchart แสดงการทำงานเมื่อส่งคำสั่งจากสวิตช์

4.3. สวิตช์โหมดปรับระดับอัตโนมัติโดยเมื่อกดสวิตช์จะเข้าช่วงการทำงานแบบอัตโนมัติ และทำงานในโหมดนี้แบบวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีคำสั่งอย่างอื่นเข้ามาแทนที่ ช่วงการทำงานแบบปรับอัตโนมัติ ทำงานโดยอ่านค่าอนาล็อกจากเซนเซอร์รับแสง เปรียบเทียบค่าดังกล่าวว่าอยู่ช่วงระดับใด กำหนดค่าระดับแล้วส่งค่าไปยังช่วงแสดงผล หากค่าระดับก่อนหน้านั้นอยู่ติดกับระดับในช่วงที่อ่านได้กำหนดให้มีการเลื่อนขึ้นหรือลงไปของช่วงเปลี่ยนแปลงอีกเล็กน้อยถึงจะทำการเปลี่ยนระดับ



รูปที่ 3.11 flowchart แสดงการทำงานในโหมดอัตโนมัติโดยการตรวจสอบค่าอนาล็อกในการเปลี่ยนระดับ

5. ช่วงการแสดงผล จะทำการรับค่าระดับจากขั้นตอนดังที่ได้กล่าว แล้วส่งค่าแรงดันจากขาต่างๆของอาร์ดูโนไปยังขารีเลย์ ตามที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อแสดงผลดังกล่าวแล้วจึงกลับไปเริ่ม void loop ใหม่



รูปที่ 3.12 flowchart แสดงการทำงานช่วงรับค่าคำสั่งจากโปรแกรมและส่งสัญญาณตามค่าที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบกระจกอัจฉริยะ

4.1 การทดสอบและศึกษาประสิทธิภาพของกระจกอัจฉริยะ (Intelligent Window)

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของการกรองแสงและความร้อนของกระจกอัจฉริยะซึ่งจากข้อมูลแสดงคุณสมบัติของกระจกอินซูเลตในหัวข้อที่ 2.2.1 จึงเลือกใช้กระจกชนิดเขียวตัดแสงแบบอินซูเลตที่มีความหนาของกระจกต่อช่องอากาศต่อกระจกที่ 6-12-6 มิลลิเมตรขนาด 1x1 ตารางเมตร และประกอบติดฟิล์มPDLCกับกระจกด้านในช่องอากาศเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งมีการทดสอบคุณสมบัติการใช้งานได้ในหัวข้อถัดไปนี้

4.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพฟิล์มอัจฉริยะ

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ รวมถึงประสิทธิภาพของฟิล์มอัจฉริยะอย่างละเอียด โดยจะเป็นการจ่ายไฟแรงดันกระแสสลับที่ค่าระดับต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานในหลาย ๆ ด้าน เช่น พลังงานไฟฟ้าจริง พลังงานไฟฟ้าเสมือน และ พลังงานไฟฟ้าปรากฏ เพื่อใช้หาค่าตัวประกอบกำลังในแต่ละระดับและหาค่าแรงดันที่เหมาะสมนำมากำหนดระดับการกรองแสงของฟิล์มอัจฉริยะ

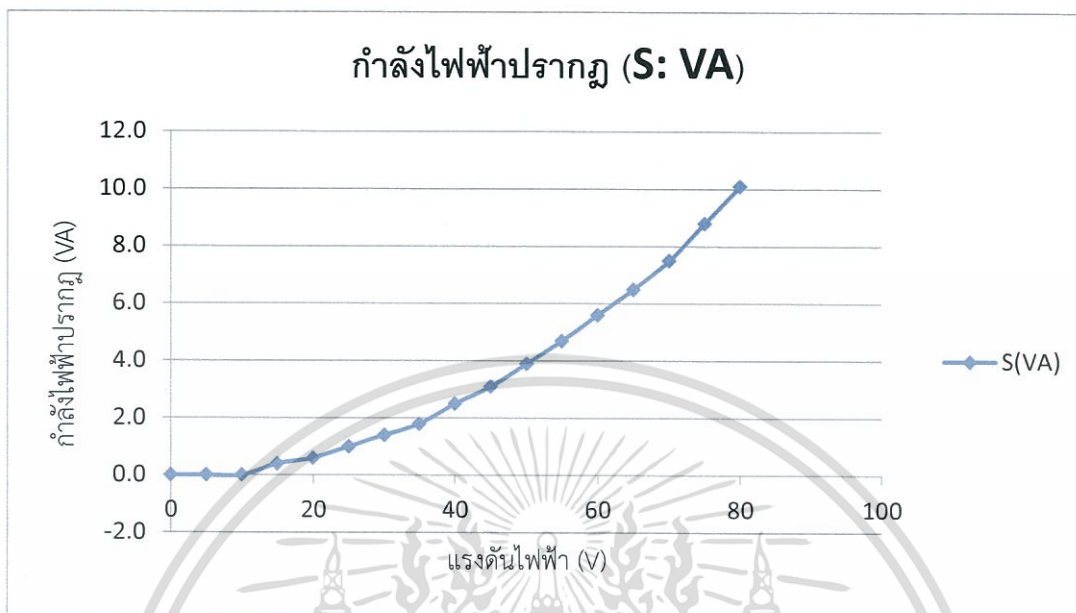
ผลการจ่ายระดับแรงดันแบบกระแสสลับให้แก่ฟิล์มอัจฉริยะเป็นไปตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการใช้พลังงานของฟิล์มPDLCที่ระดับแรงดันต่างๆ

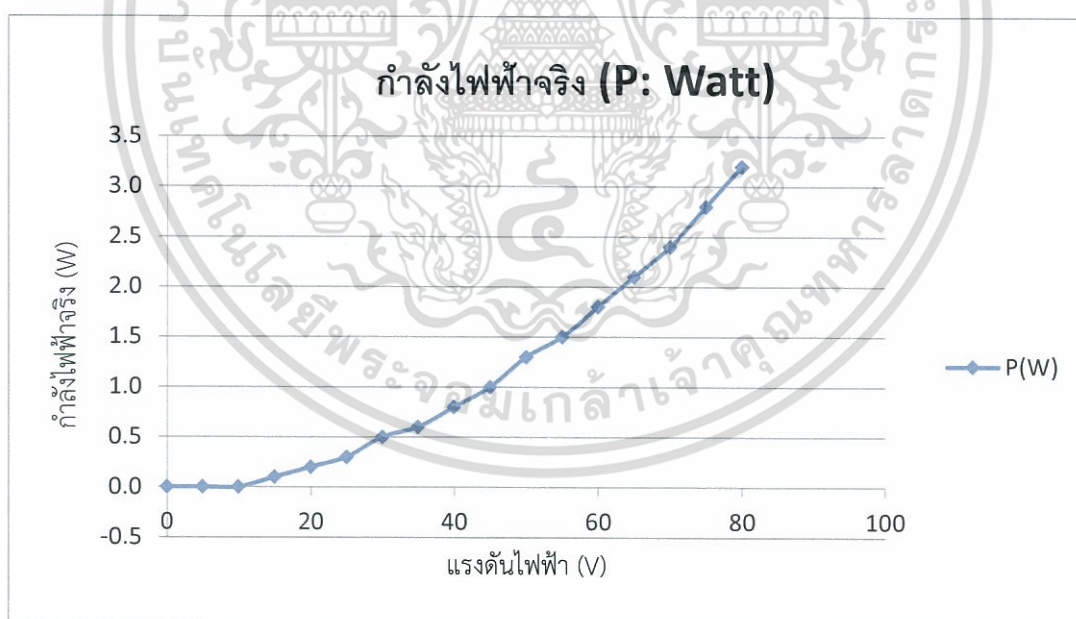
แรงดันไฟฟ้า ที่กำหนด (V)	แรงดันไฟฟ้า ที่วัดได้จริง (V)	กระแสที่ วัดได้จริง (A)	กำลังไฟฟ้า ที่วัดจริง (W)	กำลังไฟฟ้า เสมือนที่วัด จริง (VAR)	กำลังไฟฟ้า ปรากฏที่วัด จริง (VA)	Power factor (P.f.)
0	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	15.7	0.023	0.1	-0.3	0.4	0.250
20	20.4	0.031	0.2	-0.6	0.6	0.333
25	25.2	0.038	0.3	-0.9	1.0	0.300
30	30.0	0.046	0.5	-1.3	1.4	0.357
35	34.8	0.053	0.6	-1.7	1.8	0.333
40	40.5	0.062	0.8	-2.4	2.5	0.320
45	34.8	0.069	1.0	-2.9	3.1	0.323
50	50.6	0.078	1.3	-3.7	3.9	0.333
55	55.4	0.085	1.5	-4.4	4.7	0.319
60	60.3	0.093	1.8	-5.3	5.6	0.321
65	64.9	0.100	2.1	-6.1	6.5	0.323
70	69.4	0.107	2.4	-7.1	7.5	0.320
75	75.3	0.116	2.8	-8.3	8.8	0.318
80	80.5	0.124	3.2	-9.5	10.1	0.317

หมายเหตุ ที่ช่วงระดับแรงดันกระแสสลับที่ 0-10 โวลต์ ฟิล์มอัจฉริยะไม่มีการตอบสนองทางไฟฟ้าอันเนื่องมาจากค่าแรงดันที่ต่ำเกินกว่าจะกระตุ้นอนุภาคภายในแผ่นฟิล์มให้เกิดการเรียงตัวได้

และได้ผลกราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ฟิล์มใช้ในส่วนต่าง ๆ เป็นไปตามดังนี้

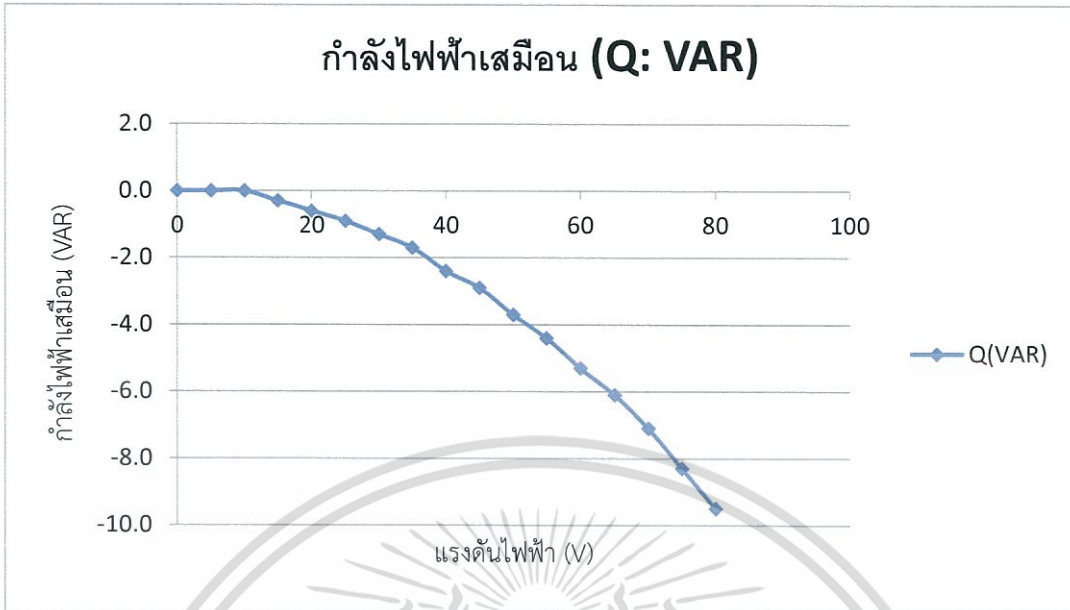


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของฟิล์มอัจฉริยะ

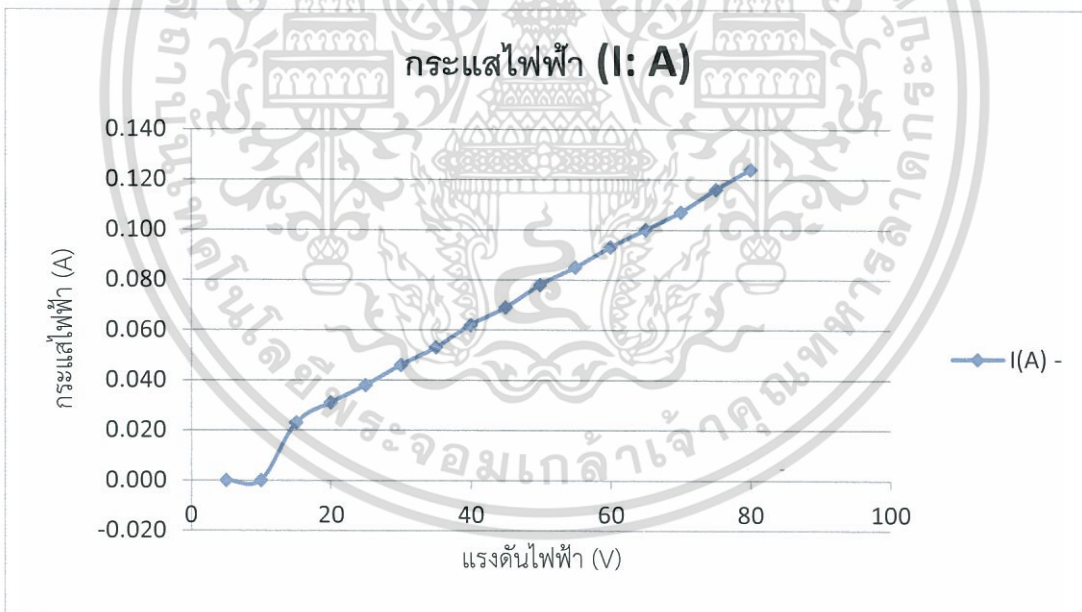


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าจริงของฟิล์มอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

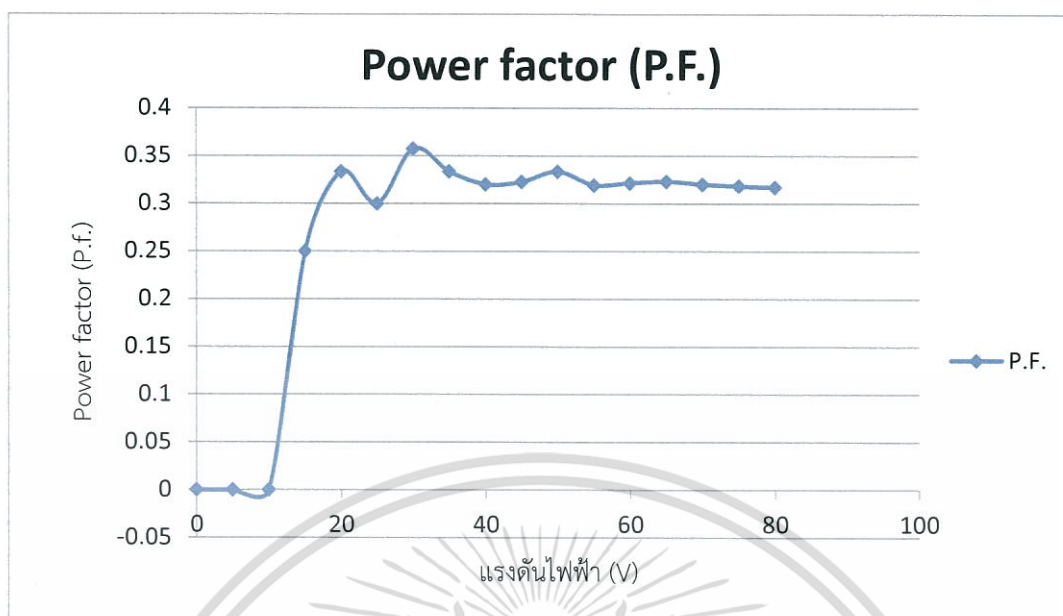


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของฟิล์มอัจฉริยะ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าสลับของฟิล์มอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



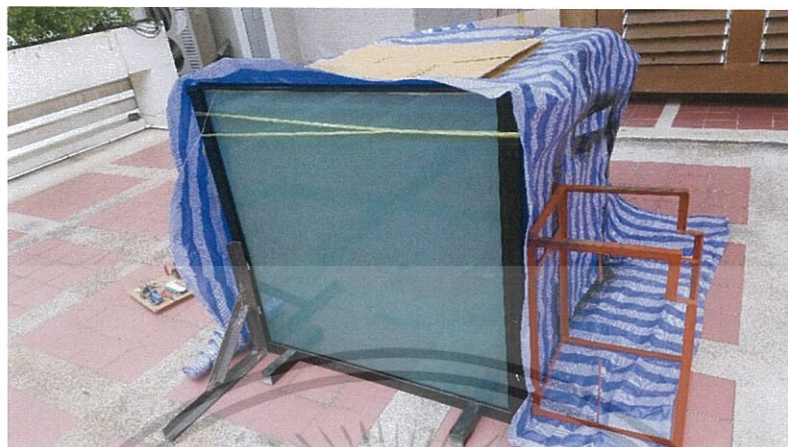
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสลับที่ฟิล์มอัจฉริยะ

จากการสังเกตพฤติกรรมของฟิล์มอัจฉริยะ จะพบว่าเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับให้แก่ฟิล์มตั้งแต่วoltage ระดับแรงดันที่ 15 โวลต์จนถึงค่าแรงดัน 80 โวลต์ ตัวอนุภาคภายในที่อยู่ในแผ่นฟิล์มจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้แสงสามารถส่องผ่านได้มากขึ้นและแปรผันตรงกับระดับแรงดันที่จ่ายให้กับแผ่นฟิล์ม ซึ่งหมายความว่าหากจ่ายแรงดันให้เรียงตั้งแต่วoltage ระดับแรงดันที่ 15 โวลต์ ถึง 80 โวลต์ แผ่นฟิล์มจะเพิ่มระดับความโปร่งแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในขณะเดียวกัน ระดับความต่างการโปร่งแสงของแผ่นฟิล์มก็จะลดลงเรื่อย ๆ เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ที่ระดับความต่างระหว่างแรงดันที่ 15 กับ 30 โวลต์ จะเห็นความแตกต่างของระดับการโปร่งแสงได้ชัดกว่าที่ระดับความต่างระหว่างที่ 30 กับ 45 โวลต์

จากที่ได้พิจารณาผลการใช้กำลังไฟฟ้าจากการทดสอบแผ่นฟิล์ม และพฤติกรรมระดับการโปร่งแสงที่ระดับแรงดันค่าต่าง ๆ จึงมีความเห็นอันสมควรว่า ถ้าหากต้องการแบ่งการปรับระดับของแผ่นฟิล์มออกเป็น 5 ระดับ ควรจะแบ่งเป็นระดับ ที่ 0 15 30 45 และ 70 โวลต์ โดยระดับค่าความโปร่งใสสำหรับฟิล์มขนาด 1 ตารางเมตร ที่แนะนำจะอยู่ที่ ระดับ 45 โวลต์ เมื่อพิจารณาจากระดับการใช้พลังงาน และ ระดับความโปร่งแสงที่ปรากฏ ซึ่งใช้พลังงานเพียง 1 วัตต์ หรือ 0.27 มิลลิวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งหากจะเทียบกับที่ระดับแรงดัน 70 โวลต์ที่ใช้พลังงานถึง 2.4 วัตต์ หรือ 0.67 มิลลิวัตต์-ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดสอบการส่องผ่านของแสงของกระจกอัจฉริยะ



รูปที่ 4.6 ชุดกระจกอัจฉริยะประกอบเข้ากับกล่องที่ขึงเปิดหนึ่งด้านแล้วคลุมด้วยผ้าใบเพื่อกันแสง

ในขั้นถัดไปคือการทดสอบการส่องผ่านของแสงของกระจกอัจฉริยะโดยทำการประกอบชุดกระจกอัจฉริยะเข้ากับกล่องที่ขึงเปิดหนึ่งด้านแล้วคลุมด้วยผ้าใบเพื่อกันแสงภายนอกดังรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความเข้มแสงปกติภายนอกและความเข้มแสงภายในที่ผ่านการกรองแสงที่ระดับความโปร่งใสของฟิล์มPDLC รวมทั้งอุณหภูมิภายนอกและภายในช่วงระดับแรงดัน 0 15 30 45 70 โวลต์วัดค่าดังกล่าวทุก 30 นาทีและสุ่มบันทึกผลมาสามค่านำมาเฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 17.00 น. ในวันที่ 12 15 และ 18 เดือน มีนาคม ปี พ.ศ.2561 ซึ่งผลการบันทึกผลมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 12 มีนาคม 2561

เวลาที่ทำการวัดค่า	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (lux)						
	ณ กระจกบานนอก	ณ กระจกบานใน					
		ที่ระดับ 0	ที่ระดับ 1	ที่ระดับ 2	ที่ระดับ 3	ที่ระดับ 4	ที่ระดับ 5
11.00	16441	3122.67	3972.33	4768.67	4884.67	4892.33	4925.00
11.30	17432	3229.67	3303.67	4975.33	5016.67	7006.00	7467.67
12.00	14225	3256.33	3224.67	4933.00	4966.33	4959.33	4969.33
12.30	12077	3239.00	4493.67	4893.00	4928.33	4933.00	4933.67
13.00	14255	3073.33	3081.00	4777.67	4861.33	4875.00	4874.00
13.30	9040	2008.00	2168.00	3154.33	3252.00	3254.00	3290.00
14.00	13163	2267.00	2785.33	3278.67	3341.33	3332.00	4412.67
14.30	10505	2274.67	2857.33	3330.33	3306.67	3332.67	4470.33
15.00	9213	2259.33	2751.00	3236.33	3247.33	3286.00	3301.67
15.30	9162	1736.67	1830.33	2282.33	2512.33	2823.00	2956.00
16.00	9057	1568.00	1844.67	2173.67	2182.00	2191.67	2206.33
16.30	8043	1093.00	1352.33	1504.00	1516.33	1516.33	1519.33
17.00	7235	1080.67	1174.67	1223.33	1267.00	1302.00	1324.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 12 มีนาคม 2561

เวลาที่ทำการวัดค่า	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (lux)						
	ณ กระจกบานนอก	ณ กระจกบานใน					
		ที่ระดับ 0	ที่ระดับ 1	ที่ระดับ 2	ที่ระดับ 3	ที่ระดับ 4	ที่ระดับ 5
11.00	100	18.99	24.16	29.00	29.71	29.76	29.96
11.30	100	18.53	18.95	28.54	28.78	40.19	42.84
12.00	100	22.89	22.67	34.68	34.91	34.86	34.93
12.30	100	26.82	37.21	40.52	40.81	40.85	40.85
13.00	100	21.56	21.61	33.52	34.10	34.20	34.19
13.30	100	22.21	23.98	34.89	35.97	36.00	36.39
14.00	100	17.22	21.16	24.91	25.38	25.31	33.52
14.30	100	21.65	27.20	31.70	31.48	31.72	42.55
15.00	100	24.52	29.86	35.13	35.25	35.67	35.84
15.30	100	18.96	19.98	24.91	27.42	30.81	32.26
16.00	100	17.31	20.37	24.00	24.09	24.20	24.36
16.30	100	13.59	16.81	18.70	18.85	18.85	18.89
17.00	100	14.94	16.24	16.91	17.51	18.00	18.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 15 มีนาคม 2561

เวลาที่ทำการวัดค่า	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (lux)						
	ณ กระจกบานนอก	ณ กระจกบานใน					
		ที่ระดับ 0	ที่ระดับ 1	ที่ระดับ 2	ที่ระดับ 3	ที่ระดับ 4	ที่ระดับ 5
11.00	9465	2267.00	2584.67	2942.33	3041.00	3276.33	3780.67
11.30	11138	2301.00	2928.67	3057.00	3102.67	3318.67	4049.67
12.00	9888	2019.67	2934.67	3100.33	3664.33	3431.67	2971.67
12.30	9572	2798.33	4102.00	4322.33	4275.00	4191.33	4136.67
13.00	10762	2335.67	3193.67	2994.67	3079.00	2784.67	3250.00
13.30	8399	2407.33	3391.00	3520.33	3478.33	3497.67	3472.33
14.00	10342	2111.67	2818.00	2732.67	2907.00	2866.00	2910.00
14.30	7850	1854.00	2455.00	2580.67	2593.67	2602.00	2606.00
15.00	7129	1728.67	2401.00	2522.33	2544.00	2555.33	2569.33
15.30	6786	1044.67	1411.33	1503.33	1641.67	2215.67	2312.00
16.00	5908	1335.33	1832.33	1916.00	1929.33	1921.33	1925.00
16.30	4975	1104.33	1573.33	1671.00	1672.00	1674.67	1682.00
17.00	3585	1127.00	1135.67	1131.00	740.33	732.67	723.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 15 มีนาคม 2561

เวลาที่ทำการวัดค่า	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (lux)						
	ณ กระจกบานนอก	ณ กระจกบานใน					
		ที่ระดับ 0	ที่ระดับ 1	ที่ระดับ 2	ที่ระดับ 3	ที่ระดับ 4	ที่ระดับ 5
11.00	100	23.95	27.31	31.09	32.13	34.62	39.94
11.30	100	20.66	26.29	27.45	27.86	29.80	36.36
12.00	100	20.43	29.68	31.35	37.06	34.71	30.05
12.30	100	29.23	42.85	45.16	44.66	43.79	43.22
13.00	100	21.70	29.68	27.83	28.61	25.87	30.20
13.30	100	28.66	40.37	41.91	41.41	41.64	41.34
14.00	100	20.42	27.25	26.42	28.11	27.71	28.14
14.30	100	23.62	31.27	32.87	33.04	33.15	33.20
15.00	100	24.25	33.68	35.38	35.69	35.84	36.04
15.30	100	15.39	20.80	22.15	24.19	32.65	34.07
16.00	100	22.60	31.01	32.43	32.66	32.52	32.58
16.30	100	22.20	31.62	33.59	33.61	33.66	33.81
17.00	100	31.44	31.68	31.55	20.65	20.44	20.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 18 มีนาคม 2561

เวลาที่ทำการวัดค่า	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (lux)						
	ณ กระจกบานนอก	ณ กระจกบานใน					
		ที่ระดับ 0	ที่ระดับ 1	ที่ระดับ 2	ที่ระดับ 3	ที่ระดับ 4	ที่ระดับ 5
11.00	9684	2344.00	3282.67	3501.33	3548.33	3413.67	3479.00
11.30	9470	2306.00	3241.33	3384.67	3347.67	3364.67	3377.33
12.00	10382	2209.67	3241.67	3427.00	3496.33	3511.00	3504.00
12.30	8026	1981.00	2803.67	2917.33	2944.00	2954.33	2980.67
13.00	8594	2016.33	2855.00	2874.33	2778.33	2858.00	2890.00
13.30	7827	2030.67	2800.33	2924.33	2920.00	2921.67	2929.00
14.00	9549	1527.33	2061.67	3165.67	3081.00	3108.33	2716.00
14.30	8571	2072.67	1831.33	1914.33	2330.00	3099.33	3084.00
15.00	6997	1783.33	2405.33	2530.67	2543.67	2580.00	2592.67
15.30	5842	1536.67	2120.00	2210.00	2223.33	2221.67	2234.33
16.00	5445	1096.33	1709.00	2052.33	2118.00	2108.33	2085.67
16.30	4985	1206.33	1696.00	1793.00	1778.00	1755.00	1712.00
17.00	3450	912.67	1235.00	1272.33	1288.33	1288.33	1287.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลเปอร์เซ็นต์การการส่องผ่านของแสง ณ วันที่ 18 มีนาคม 2561

เวลาที่ทำการวัด ค่า	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (lux)						
	ณ กระจก บานนอก	ณ กระจกบานใน					
		ที่ระดับ 0	ที่ระดับ 1	ที่ระดับ 2	ที่ระดับ 3	ที่ระดับ 4	ที่ระดับ 5
11.00	100	24.20	33.90	36.16	36.64	35.25	35.93
11.30	100	24.35	34.23	35.74	35.35	35.53	35.66
12.00	100	21.28	31.22	33.01	33.68	33.82	33.75
12.30	100	24.68	34.93	36.35	36.68	36.81	37.14
13.00	100	23.46	33.22	33.45	32.33	33.26	33.63
13.30	100	25.94	35.78	37.36	37.31	37.33	37.42
14.00	100	15.99	21.59	33.15	32.27	32.55	28.44
14.30	100	24.18	21.37	22.34	27.18	36.16	35.98
15.00	100	25.49	34.38	36.17	36.35	36.87	37.05
15.30	100	26.30	36.29	37.83	38.06	38.03	38.25
16.00	100	20.13	31.39	37.69	38.90	38.72	38.30
16.30	100	24.20	34.02	35.97	35.67	35.21	34.34
17.00	100	26.45	35.80	36.88	37.34	37.34	37.31

การผลการบันทึกสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับแรงดันกระแสสลับให้กับฟิล์มพบว่ากระจกอัจฉริยะมีการกรองแสงที่ลดลง หรืออีกความหมายหนึ่งคือมีแสงส่องผ่านเข้ามาในกล่องที่มากขึ้น ในช่วงแรกเมื่อเพิ่มแรงดันจาก 0- 15 โวลต์ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดที่สุดแต่เมื่อเพิ่มแรงดันให้สูงกว่าช่วง 30 โวลต์ ระดับการเพิ่มความเข้มแสงที่ส่องเข้ามามีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าลง แม้จะสามารถสังเกตได้จากการวัดและบันทึกค่าแต่หากจะสังเกตจากตาเปล่าจะไม่สามารถสังเกตความแตกต่างได้มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

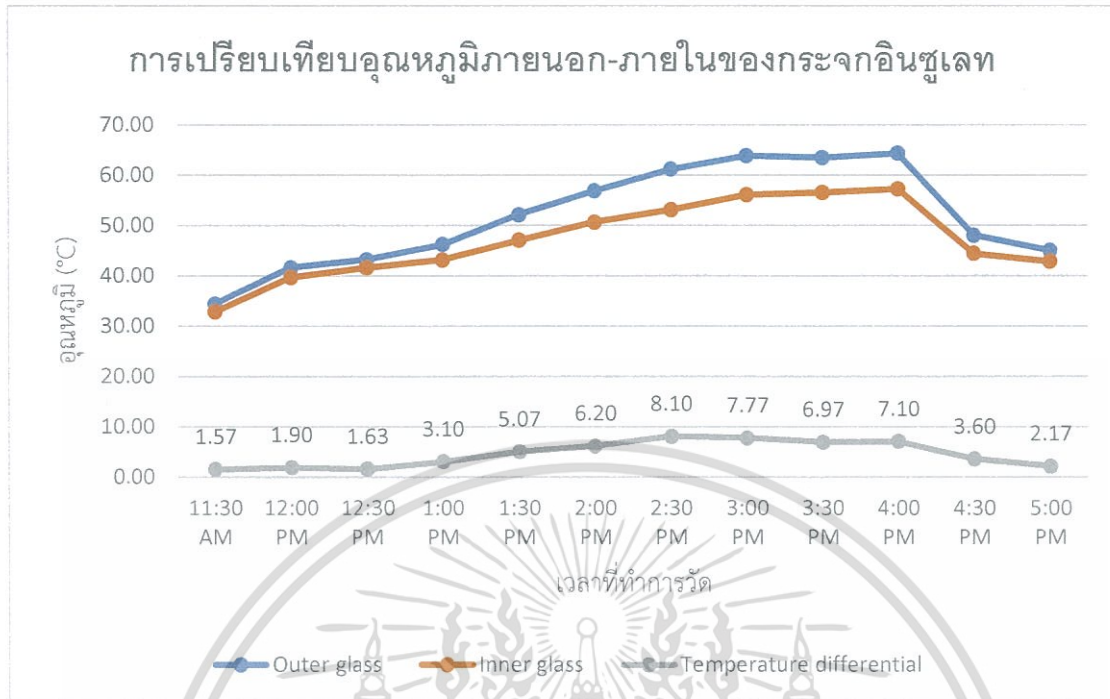
4.1.3 การทดสอบการผ่านของอุณหภูมิของกระจกอัจฉริยะ

การศึกษากการกักเก็บและส่งผ่านของอุณหภูมิของกระจกอัจฉริยะ โดยที่ทำการติดตั้งฟิล์มPDLCไว้ที่กระจกด้านนอก โดยจะทำการวัดอุณหภูมิทั้งด้านในและด้านนอกแล้วนำมาเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในที่ผ่านการตัวฟิล์มPDLC วัดค่าดังกล่าวทุก 30 นาทีและสุ่มบันทึกผลมาสามค่านำมาเฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 11.30 น. ถึง 17.00 น. ในวันที่ 10 เดือน เมษายน ปี พ.ศ.2561 ซึ่งผลการบันทึกผลมีดังนี้

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการการส่งผ่านของอุณหภูมิ ณ วันที่ 10 เมษายน 2561

เวลาในการบันทึกผล	อุณหภูมิภายนอกกระจก (°C)				อุณหภูมิภายในกระจก (°C)				ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
	1st	2nd	3rd	ค่าเฉลี่ย	1st	2nd	3rd	ค่าเฉลี่ย	
11:30 AM	34.7	34.4	34.1	34.40	33.2	32.7	32.6	32.83	1.57
12:00 PM	41.5	41.7	41.6	41.60	39.4	39.9	39.8	39.70	1.90
12:30 PM	42.5	43.4	43.7	43.20	41	41.4	42.3	41.57	1.63
1:00 PM	46.4	46.3	46	46.23	42.8	43.8	42.8	43.13	3.10
1:30 PM	52.4	52.1	51.9	52.13	46.5	46.4	48.3	47.07	5.07
2:00 PM	58.3	55.9	56.4	56.87	49.6	50.6	51.8	50.67	6.20
2:30 PM	61	61.2	61.4	61.20	53	52.5	53.8	53.10	8.10
3:00 PM	63.2	63.9	64.5	63.87	55	56.5	56.8	56.10	7.77
3:30 PM	62.7	63.9	64	63.53	55.6	56.7	57.4	56.57	6.97
4:00 PM	63.5	64.9	64.7	64.37	56.5	57.7	57.6	57.27	7.10
4:30 PM	47.8	48.1	48.2	48.03	44.6	44	44.7	44.43	3.60
5:00 PM	45.2	45.5	44.3	45.00	42.8	43.1	42.6	42.83	2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของกระจกอัจฉริยะ

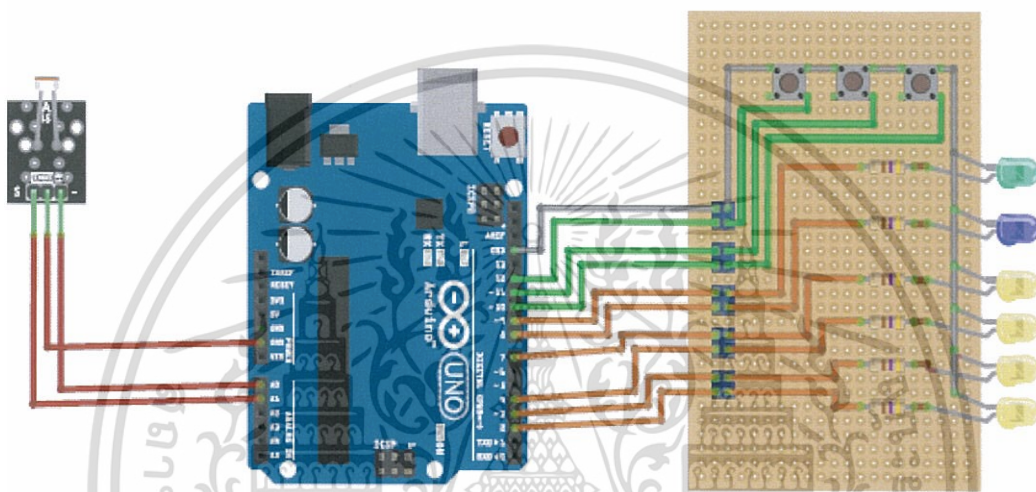
4.2 การศึกษาพฤติกรรมเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR

โหมดการทำงานแบบอัตโนมัติเป็นอีกหนึ่งฟังก์ชันการทำงานที่จะคอยรับค่าความเข้มแสงภายนอกมาประมวลผลเพื่อกำหนดระดับการทำงานของฟิล์มให้เหมาะสม โดยหลักการทำงานจะเป็นการรับอินพุตรูปแบบสัญญาณอนาล็อกที่ทำงานผ่านการเปลี่ยนแปลงของแสง และส่งค่าดังกล่าวเพื่อใช้สำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมดการทำงานอัตโนมัติ โดยจะใช้โมดูลเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR ที่ง่ายต่อการติดตั้งและหาซื้อ

ในการที่จะสามารถใช้สัญญาณอนาล็อกที่ส่งมาจากโมดูลเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR ก่อนนั้นจำเป็นต้องศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มแสงกับค่าอนาล็อกก่อน เพื่อที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อให้นำค่าดังกล่าวจากที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรปรับระดับแรงดันได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรรมวิธีที่จะใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของแสงผ่านตัวเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR จะสามารถทำได้โดยการต่อวงจรวัดแสงดังรูปที่ 4.8 และต่อวงจรนี้เข้ากับแหล่งจ่าย 5 โวลต์ และเชื่อมวงจรดังกล่าวเข้ากับโปรแกรม Arduino.IDE แล้วจึงทำการอัปโหลดชุดคำสั่งที่ใช้ในการวัดแสง เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ดังกล่าว หลังจากทำการอัปโหลดเสร็จสิ้น ให้ทำการกดปุ่ม  เพื่อให้แสดงค่าอนาล็อกจากการวัดค่าแสงที่เซนเซอร์วัดแสงตรวจจับได้



รูปที่ 4.8 วงจรหาค่าอนาล็อกจากโมดูลเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR

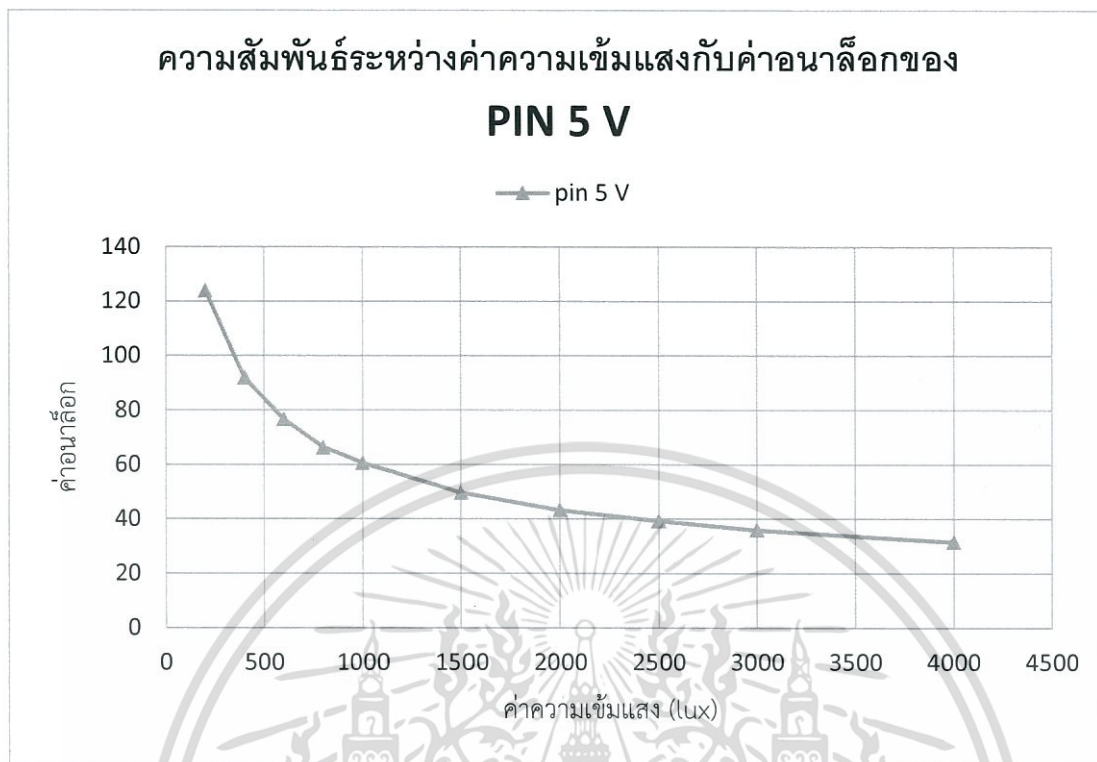
ในการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนาล็อก-ค่าความเข้มแสง โดยศึกษาในช่วง 0-4000 ลักซ์ เพราะอยู่ในช่วงความเข้มแสงมาตรฐานในการทำงาน พบว่า ค่าความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะที่แปรผกผัน นั้นหมายความว่า ยิ่งค่าความเข้มแสงสูงขึ้น ค่าอนาล็อกที่เซนเซอร์รับแสงที่วัดได้ก็จะมีค่าน้อยลง ดังตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าอนาล็อกจากโมดูลเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR

ค่าความเข้มแสงที่สนใจ (lux)	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้จริง(lux)				ค่าอนาล็อกที่วัดได้			
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	-	-	-	0.00	960	991	984	978.33
200	202	201	203	202.00	114	116	117	115.67
400	404	406	417	409.00	89	90	81	86.67
600	602	606	610	606.00	74	76	74	74.67
800	802	804	804	803.33	65	66	60	63.67
1000	1014	1007	1004	1008.33	58	59	60	59.00
1500	1508	1508	1507	1507.67	47	49	51	49.00
2000	2006	2018	2032	2018.67	42	43	45	43.33
2500	2520	2521	2513	2518.00	38	38	40	38.67
3000	3003	3020	3022	3015.00	35	35	37	35.67
4000	4078	4015	4011	4034.67	31	31	33	31.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มแสงกับค่าอนาล็อก

อีกทั้งลักษณะของการในการออกแบบชุดการทำงานนั้นจะออกแบบให้ปรับระดับให้จ่ายแรงดันสูงหรือปรับให้แผ่นฟิล์มใสเมื่อความเข้มแสงภายนอกอยู่ในระดับต่ำเพื่อให้แสงภายนอกเข้ามายังห้องภายในให้ได้มาก ตรงกันข้ามเมื่อความเข้มแสงภายนอกอยู่ในระดับสูง ระบบจะปรับระดับให้จ่ายแรงดันต่ำหรือปรับให้แผ่นฟิล์มทึบ เพื่อกันแสงจากภายนอกไม่ให้เข้ามามากเกินไป ซึ่งในการปรับระดับนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับสภาพการทำงานในห้องนั้น ๆ สำหรับในโปรเจกต์นี้จะกำหนดให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด ถึงต่ำสุดคือ 4000 3000 2000 และ 1000 ลักซ์ ตามลำดับ สำหรับช่วงระดับแรงดัน 55 45 30 15 และ 0 โวลต์ ตามลำดับ

4.3 การออกแบบ และสร้างวงจรควบคุมการจ่ายแรงดันของกระจกอัจฉริยะ

รายละเอียดที่สำคัญของชิ้นงานกระจกอัจฉริยะนั้น จะประกอบขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในข้างต้น ประกอบกับรูปแบบของวงจรจ่ายแรงดันที่ทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับส่วนที่ได้จากการเก็บข้อมูลนั้นจะเลือกใช้เฉพาะบางค่าเท่านั้น เพื่อให้ทำงานได้อย่างเป็นระบบมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานจริงได้และรูปแบบไม่ซับซ้อนจนเกินไป

ในอันดับแรกนั้นเริ่มจากการกำหนดช่วงการทำงานของฟิล์ม จากการทดสอบที่ได้ศึกษามาในหัวข้อที่ 4.1.1 เลือกที่ระดับแรงดัน 0 15 30 45 และ 70 โวลต์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของความเข้มแสงโดยเฉลี่ย รวมถึงรายละเอียดของการใช้พลังงานในแต่ละระดับมีดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านและการใช้พลังงานของฟิล์ม

ระดับการจ่ายแรงดัน	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด	เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง	ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้ (Watt)	ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่จ่ายให้ (VA)
0	0	22.3	-	-
1	15	28.7	0.1	0.4
2	30	32.0	0.5	1.4
3	45	32.3	1.0	3.1
4	70	34.0	2.4	7.5

จากผลการทดสอบดังที่แสดงในตารางข้างต้น จะพบว่าเมื่อจ่ายระดับแรงดันที่สูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องที่เพิ่มขึ้นนั้น ไม่ค่อยมีความสอดคล้องกับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับตัวฟิล์มมากเท่าที่ควร ซึ่งทำให้เกิดการใช้พลังงานที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น ที่ระดับแรงดัน 30 โวลต์ นั้นมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านอยู่ที่ 32.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระดับแรงดัน 70 โวลต์ นั้นมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านอยู่ที่ 34.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นว่าระดับความต่างของแรงดันที่ 30 โวลต์ และ 70 โวลต์ นั้นมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านต่างกันเพียง 2 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในส่วนของโหมตการปรับการทำงานในรูปแบบอัตโนมัติ จากที่ได้ทำการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและค่าอนาล็อกที่ตรวจจับได้โดยเซนเซอร์รับแสง และนำค่าจากการทดสอบมากำหนดช่วงค่าความเข้มแสงที่ต้องการในแต่ละระดับการปรับแรงดัน และกำหนดค่าอนาล็อกในการเพิ่มหรือลดระดับ ซึ่งสำหรับในโครงการนี้จะกำหนดให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด ถึงต่ำสุดคือ 4000 3000 2000 และ 1000 ลักซ์ ตามลำดับสำหรับช่วงระดับแรงดัน 70 45 30 15 และ 0 โวลต์ รวมถึงการกำหนดขอบเขตช่องว่างของความเข้มแสงเพื่อป้องกันความเหลื่อมล้ำของความเข้มแสงจากภายนอกเพียงชั่วขณะ โดยใช้ระยะขอบเขตอยู่ที่ค่าอนาล็อกที่ 3-5 ค่า และได้ผลดังที่แสดงตามตารางด้านล่าง ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลค่าอนาล็อกกับค่าความเข้มแสงที่ใช้สำหรับการเพิ่มระดับ

ช่วงการเปลี่ยนระดับ	ค่าเฉลี่ย	
	ค่าความเข้มแสงที่ได้รับ	ค่าอนาล็อกที่ส่งออก
0-1	3962.33	32
1-2	2700.67	37
2-3	1684.67	47
3-4	964.67	61

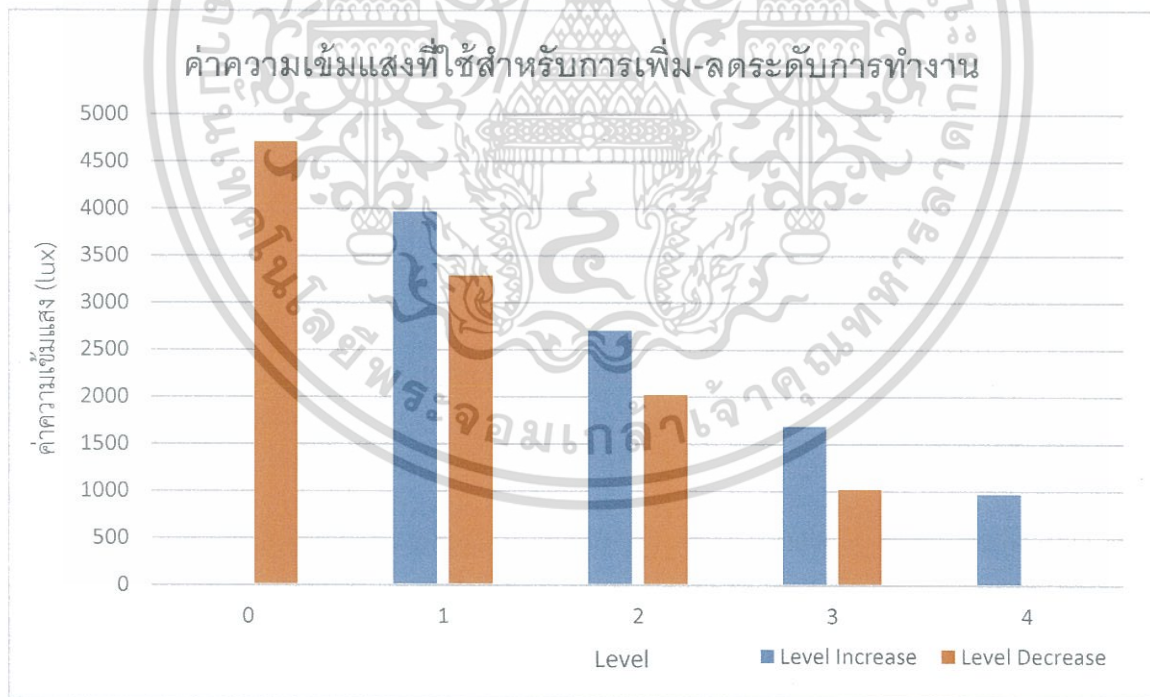
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลค่าอนาล็อกกับค่าความเข้มแสงที่ใช้สำหรับการลดระดับ

ช่วงการเปลี่ยนระดับ	ค่าเฉลี่ย	
	ค่าความเข้มแสงที่ได้รับ	ค่าความเข้มแสงที่ได้รับ
4-3	1014.33	58
3-2	2018.33	42
2-1	3285.00	32
1-0	4707.33	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากผลการทดสอบที่แสดงในตาราง พบว่าเราสามารถหาค่าอนาล็อกที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้นี้เพื่อกำหนดค่าความเข้มแสงที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในกรณีเพิ่มระดับและลดระดับ ตัวอย่างเช่น ที่ระดับ 0 ไปสู่ระดับที่ 1 ค่าอนาล็อกที่เซนเซอร์แสงอ่านค่าได้จะต้องถึงค่าที่ 32 เป็นอย่างน้อย แต่ถ้าหากที่ระดับ 1 จะลดลงเป็น ระดับที่ 0 ค่าอนาล็อกที่เซนเซอร์แสงอ่านค่าได้จะต้องลดลงจนถึงค่าที่ 27 ซึ่งระยะห่างค่าอนาล็อก 5 ค่านั้นจะเป็นค่าที่ใช้เพื่อกันการเสื่อมของค่าแสงชั่วขณะที่ได้กำหนดไว้และก็สามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้อย่างเหมาะสม และสามารถแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟแห่งได้ดังนี้

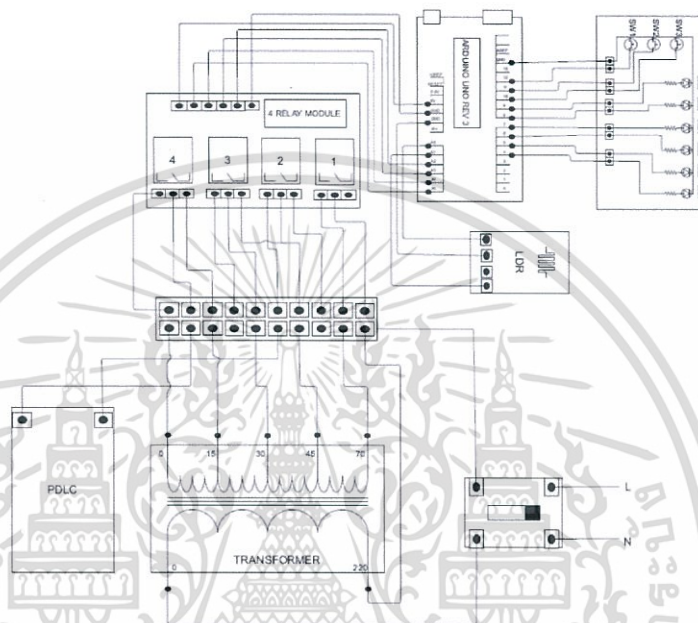
จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น สามารถทำให้กระจกอัจฉริยะทำงานที่ระดับแรงดันต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ รวมถึงทำงานในโหมดการทำงานรูปแบบอัตโนมัติ โดยผ่านการรับค่าความเข้มแสงได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อนำการทำงานในส่วนนี้รวมเข้ากับวงจรควบคุมส่วนอื่น ๆ เช่น แผงควบคุมอาร์ดูโน้ ไมโครริเลย์ รวมถึงหม้อแปลงปรับระดับแรงดัน จะทำให้เกิดวงจรควบคุมระดับแรงดันโดยรวมทั้งหมด ดังแผนภาพที่แสดงดังนี้



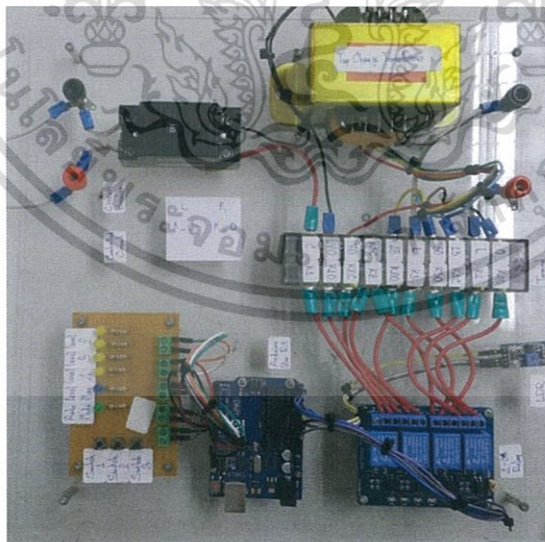
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลค่าความเข้มแสงที่ใช้สำหรับการเพิ่ม-ลดระดับการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่แสดงในรูป ผู้ใช้จะสามารถใช้งานวงจรได้โดยกดที่สวิตซ์ที่ 1 เพื่อเพิ่มระดับการทำงาน กดสวิตซ์ที่ 2 เพื่อลดระดับการทำงาน และกดสวิตซ์ ที่ 3 เพื่อเริ่มโหมดการทำงานในรูปแบบอัตโนมัติแก่กระจกอัจฉริยะ จากการทดสอบในหลาย ๆ ครั้งดังที่ได้กล่าวไว้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาบ่งบอกได้ว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

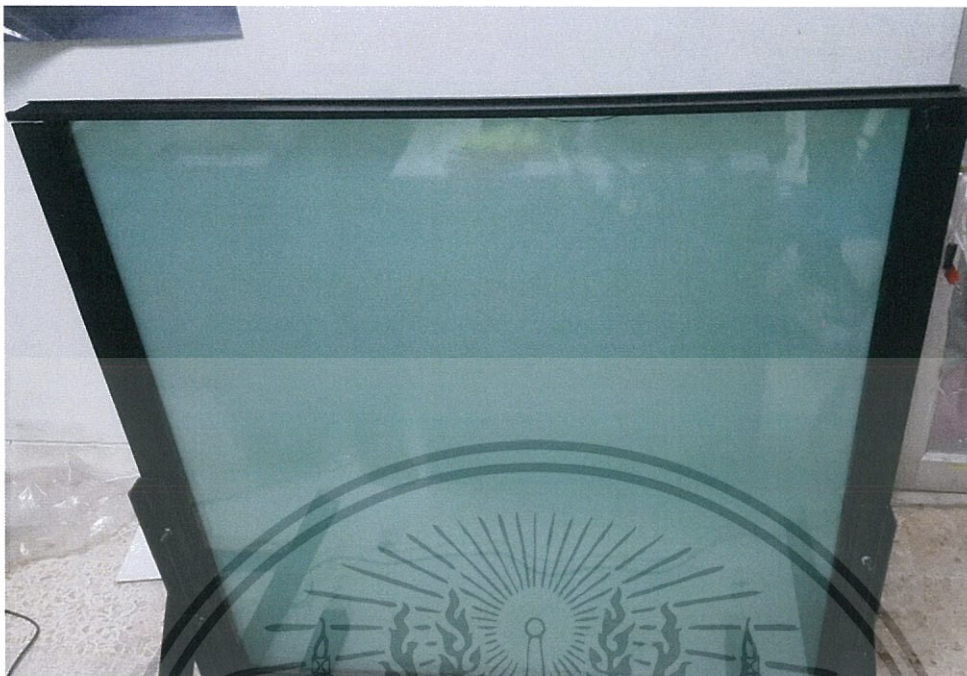


รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะการต่อวงจรควบคุมการทำงานของกระจกอัจฉริยะ



รูปที่ 4.12 วงจรควบคุมการแบ่งจ่ายแรงดันสำหรับใช้งานกับกระจกอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 फिल्मอัจฉริยะที่ติดบนกระจกเขียวตัดแสงที่ติดตั้งแบบกระจกอินซูละ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

จากการทดลองยืนยันได้ว่าเมื่อน้องค์ประกอบที่มีหน้าที่เฉพาะเจาะจงแต่ละส่วนมาทำงานร่วมโดยผ่านการกำหนดรูปแบบการทำงานต่าง ๆ ของแต่ละอุปกรณ์นั้น สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังจะกล่าวคือ ฟิล์มสามารถปรับระดับจากทึบแสง ไปยังโปร่งแสงได้ที่ผ่านการจ่ายแรงดันที่ระดับต่าง ๆ ที่มาจากการตัดต่อวงจรแรงดันผ่านหม้อแปลงแบบปรับระดับได้ และ ในการตัดต่อวงจรนี้จะทำงานผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ในการสั่งการทำงาน อีกทั้งยังมีโหมดการทำงานอัตโนมัติที่จะรับความเข้มแสงภายนอกมาปรับความเข้มแสงภายในได้อีกด้วย

สำหรับระดับแรงดันที่ใช้จ่ายให้แก่ฟิล์มนั้นค่าที่แนะนำจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 40 โวลต์ สำหรับฟิล์มขนาด 1 ตารางเมตร เนื่องจากให้ค่าความโปร่งแสงที่สูงและกินพลังงานน้อยกว่าที่แรงดันสูงกว่าแต่ประสิทธิภาพไม่ต่างกัน สำหรับโหมดการทำงานอัตโนมัติสามารถปรับระดับได้ตามที่จ่ายความเข้มแสงที่ได้สมมุติขึ้นมาได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงการปรับระดับแรงดันผ่านการกดปุ่ม

จากการทดสอบหลายๆครั้ง ไม่ปรากฏหรือบ่งบอกถึงการทำงานที่ผิดพลาดใด ๆ ออกมา ทำให้สามารถสรุปได้ว่ากระจกอัจฉริยะ สามารถทำงานได้จริงตามที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- [1.] Bishop, A. (1986). **Solid-state relay handbook with applications.** (n.p.) H.W. Sams
- [2.] Jawad, F., & Siahkolah, B. (2011). **Electronic Tap-changer for Distribution Transformers.** Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [3.] Lampert, C.M. (1998). "Smart switchable glazing for solar energy and daylight control" **Solar Energy Materials & Solar Cells 52.** 207-221.
- [4.] Lee, E.S., & DiBartolomeo, D.L. (2002). "Application issues for large-area electrochromic windows in commercial buildings" **Solar Energy Materials & Solar Cells 71.** 465-491.
- [5.] Papaefthimiou, S., Syrrakou, E. & Yianoulis, P. (2006). "Energy performance assessment of an electrochromic window" **Thin Solid Films 502.** 257-264.
- [6.] Piccolo, A., & Simone, F. (2015). "Performance requirements for electrochromic smart window" **Journal of Building Engineering 3.** 94-103.
- [7.] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2560). **คัมภีร์การใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino.** (ม.ป.ท.) ซีเอ็ด ยูเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



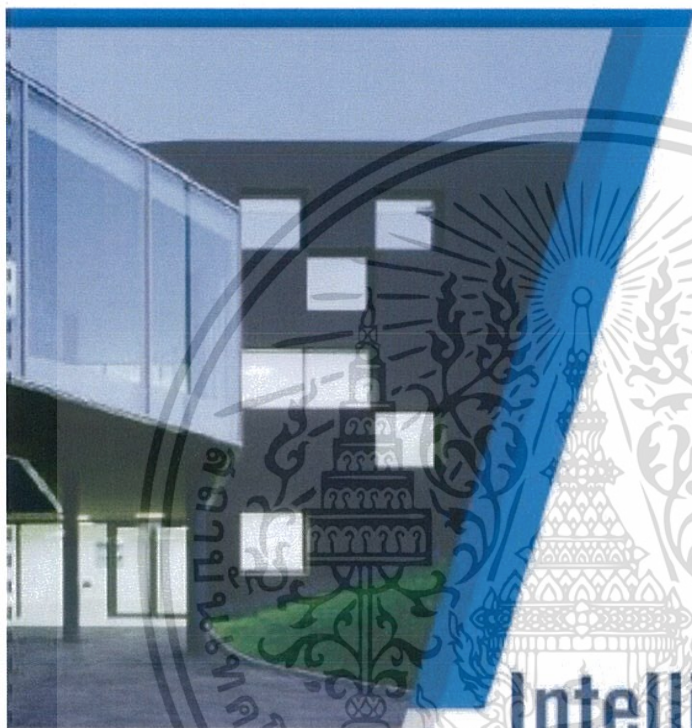
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIF

Thai Intelligent Film



Intelligent Film

ฟิล์มอัจฉริยะ

เพื่ออนาคตอันสดใส

- TIF APPLICATION
- Projects Reference
- TIF Advantages
- Contact US

PP&P International Marketing(2011) Co., Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contact US

TIF The Intelligent Film | Thai Intelligent Film Glass
PP&P International Marketing(2011) Co., Ltd.

3 ชั้น อาคารบี 14/1 ถนนลาดกระบัง
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กทม. 10520
Tel. : 02-727-5274 Fax : 02-727-8913 Mobile : 084-070-0080
Inquiry : tifglass.pp@gmail.com Website : www.tifglass.com
เลขประจำตัวผู้เสียภาษี : 0-1055-54148-15-7

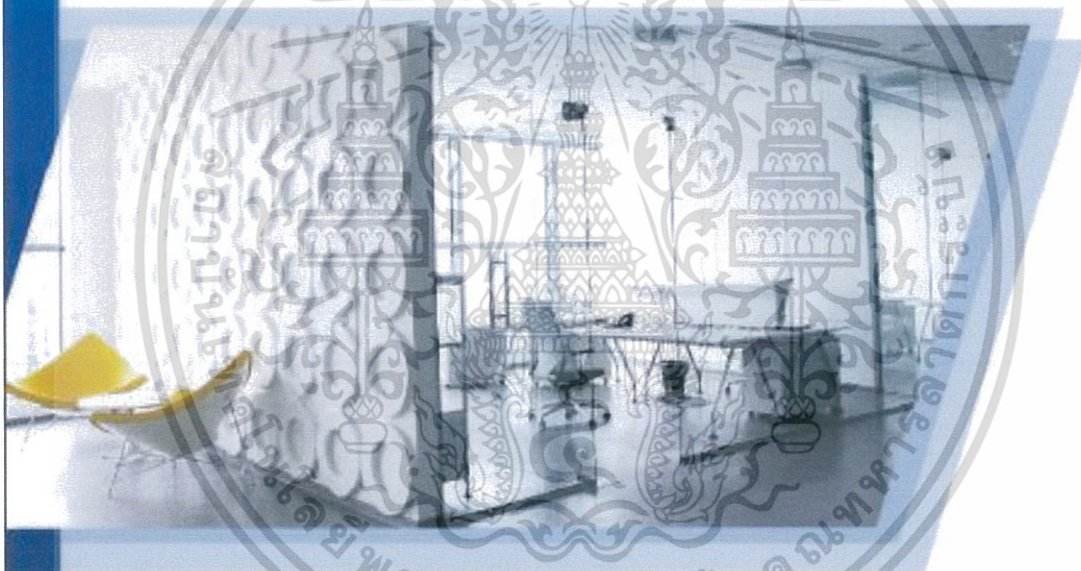
Pattanapong Pongwilai
พัฒนพงศ์ พงศ์วิโร
Sales Manager
Mobile: 099-545-3991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Introduction

ฟิล์มอัจฉริยะที่สร้างความแตกต่าง ได้อย่างลงตัว เพียงปลายนิ้วสัมผัส ฟิล์มอัจฉริยะ เปลี่ยนกระจกใส กลายเป็นกระจกทึบ เพิ่มความเป็นส่วนตัว กันระหว่างห้อง และสามารถเป็น Projector Screen ในรูปแบบ ที่คุณต้องการด้วย ฟิล์มอัจฉริยะ ติดตั้งง่าย สะดวก สวยงาม แข็งแรง อายุการใช้งานนาน ทำให้ในทุกๆที่ ที่คุณต้องการ สามารถเพิ่มความเป็นส่วนตัวได้อย่างง่ายดาย ลงตัวกับทุกจังหวะ ตอบโจทย์ของการเพิ่ม ความเป็นส่วนตัว เช่น ทำให้ห้องดูกว้างขึ้น นอกจากนี้ ฟิล์มยังช่วยลดความร้อน และกัน UV ได้ถึง 97% จึงช่วยประหยัดพลังงาน

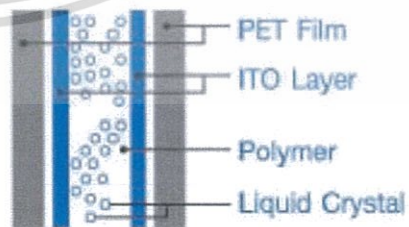
Thai Intelligent Film on glass that makes different. Only one fingertip, we can turn tinted glass to clear glasses. This gives you privacy in one second.

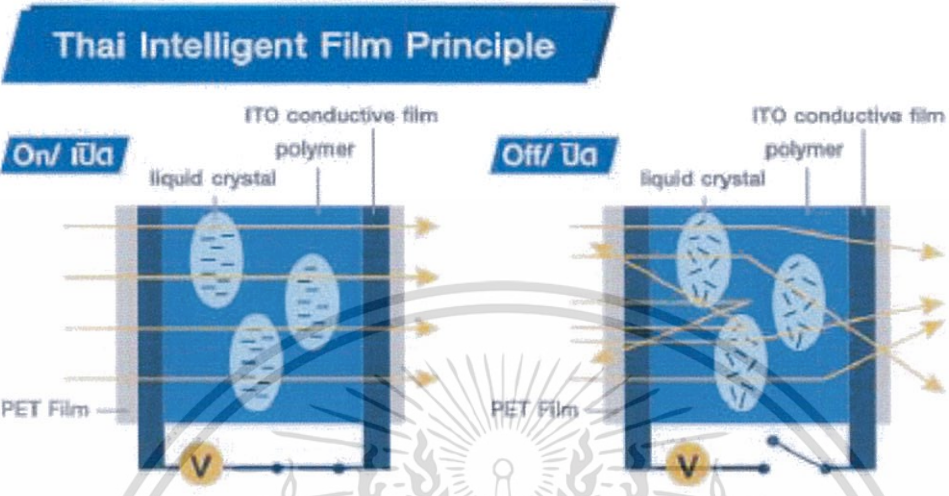


Thai Intelligent Film Principle

TIF เป็นฟิล์มชนิดพิเศษ ปลายนิ้วในท้องตลาด มีลักษณะ ที่เบาบาง ประกอบไปด้วยหยดของเหลวคริสตัลที่เรียงตัว แบบกระจายตัว ในรูปแบบที่ถ่ายเทได้





Thai Intelligent Film (TIF) is a light modulating material comprised of droplets of liquid crystal uniformly dispersed in a transparency or translucency, flexible plastic film.





TIF ทำงานโดยใช้หลักการกระจายตัวของหยดของเหลวของเหลวคริสตัล ในลักษณะที่ควบคุมโดยฟิล์มไอโอดี เป็นฟิล์มประกอบอยู่ 2 ด้าน ขณะที่ไม่มีการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าใน (เปิดสวิตช์) ของเหลวคริสตัลเรียงตัวกันอยู่กระจัดกระจาย ทำให้เกิดภาวะทึบ ในขณะที่มีการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าใน (เปิดสวิตช์) ของเหลวคริสตัลจะเกิดการเรียงตัวกันเป็นแนวขนาน กับแนวกระแสไฟฟ้า ทำให้แสงผ่านได้เกิดภาวะใสขึ้น

Thai Intelligent Film operate on the principle of electrically controlled light scattering. They consist of liquid crystal droplets surrounded by polymer mixture sandwiched between two pieces of conducting film. When no electricity is applied, the liquid crystal droplets are randomly oriented, creating an opaque state. When electricity is applied, the liquid crystals align parallel to the electric field and light passes through, creating a transparent state.

-  เข้าได้กับทุกขนาด และ รูปร่าง
Glass of any shape or size
-  สามารถติดตั้งเองได้
All done by human being
-  ไม่มีฟองอากาศ
No air bubble
-  ติดกระจกเร็ว
Fast adhesive

Self-Adhesive TIF Film

TIF สามารถติดกับกระจกได้เลย โดยวิธีที่ทำให้เป็น
สูญญากาศ ติดตั้งง่าย สะดวก รวดเร็ว ทนตบิงูทา
เรียงกันข้าง ติดแน่น คงทน ทำให้กระจกใสเมื่อ
เปิดสวิตช์ และ กระจกทึบเมื่อปิดสวิตช์

Self-adhesive PDLC Film can be pasted to the glass directly, transparent when power on, frosted when power off, meet both requirements of glass penetration and privacy. Even without electricity, glass in the frosted state, lighting is perfectly worked.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project References

On/ เปิด



Off/ ปิด



Condominium, Bangkok

On/ เปิด



Off/ ปิด



Luxury Villa, Phuket

Page 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Hilton Hotel, Beijing China



Hospital, Singapore



Projector SCREEN, BMW Osaka, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIF Advantages

1. High electric voltage resistance

มีความต้านทานกระแสไฟฟ้าสูง

Our Thai Intelligent Film is featured with good electric voltage resistance. It can endure instant high voltage as high as more than 3 times of rated voltage. Compared with other brand smart film, Thai Intelligent Film has better service life when there is high voltage caused by electric supply problems.

2. High weather resistance & No shrinkage

มีความต้านทานอากาศดีเยี่ยม และ ไม่รั่วซึม

Smart film damage mainly usually come from 3 issues, temperature difference, corrosion and aging. Our Thai Intelligent Film is with high weather resistance. It has passes strict weather resistance inspection, and its performance is much better than standard requirements. Shrinkage is the biggest hidden problem of smart films. Shrunken smart film will lose part of its functional area. And its appearance will be rather ugly. Our Thai Intelligent Film will never shrink! Under no conditions will Shrinkage happen to our Super PDLC film if you use it according to our instruction.

3. Waterproof

กันน้ำ

Perfect waterproof performance is another stunning feature of Thai Intelligent Film. When smart film is used for shower enclosure, its service life and performances cannot be ensured without good waterproof quality. Thai Intelligent Film can work well even after soaking in water for several months or using in bathroom where there is high humidity all year long.

4. High clearance

ประสิทธิภาพในมุมมองดีเยี่ยม

Our Thai Intelligent Film is clear and with low haze. Its clearance will not be affected because of its size. As for the poor quality film, when size is bigger than 1 or 1.5 sq.m., haze increases, transmission view angle of bad quality film becomes narrow, and the view of the whole glass is poor. There is big difference between project effect and sample effect. Our Thai Intelligent Film will never have this problem.

5. High Protection

ป้องกันฟิล์มบิ่นแตก (optional)

This is our option to those who has kids in their area of PDLC used. Our Thai Intelligent Film is protected by another thin glass. It will be sandwiched and protected from any accidentally incidents.

Applications

- **Residential (ที่พักอาศัย)**

Windows, screens, doors, roof-lights, sliding/folding doors, sun rooms, bathroom/shower enclosures, hurricane resistant windows ...

- **Commercial (เชิงพาณิชย์)**

Windows, roof-lights, sliding/folding doors, sun rooms, cosmetic/specialty counters/shops/ Bouquets, conference room, office & boardroom partition screen, electronic clocks/ scoreboard/ advertising displays ...

- **Hospitality (โรงแรม)**

Hotel room privacy screen, bathroom & bedroom privacy protection, external windows, doors, conference center windows & roof-lights, bar & restaurant screen, balconies...

- **Vehicles, Trains, Buses, Planes, Limos (ยานพาหนะ)**

Driver privacy protection, security screens ...

- **Retail & Showroom (ร้านโชว์ของ ตกแต่ง)**

Vanity screens, feature screens, projection windows ...

- **Projection (โปรเจกเตอร์สกรีน)**

Internal high resolution rear projection screens ...

- **Security (ศูนย์รักษาความปลอดภัย)**

Entrance foyer, teller & cash counting screens ...

- **Industrial (อุตสาหกรรม)**

Roof-lights, doors, machinery screening...

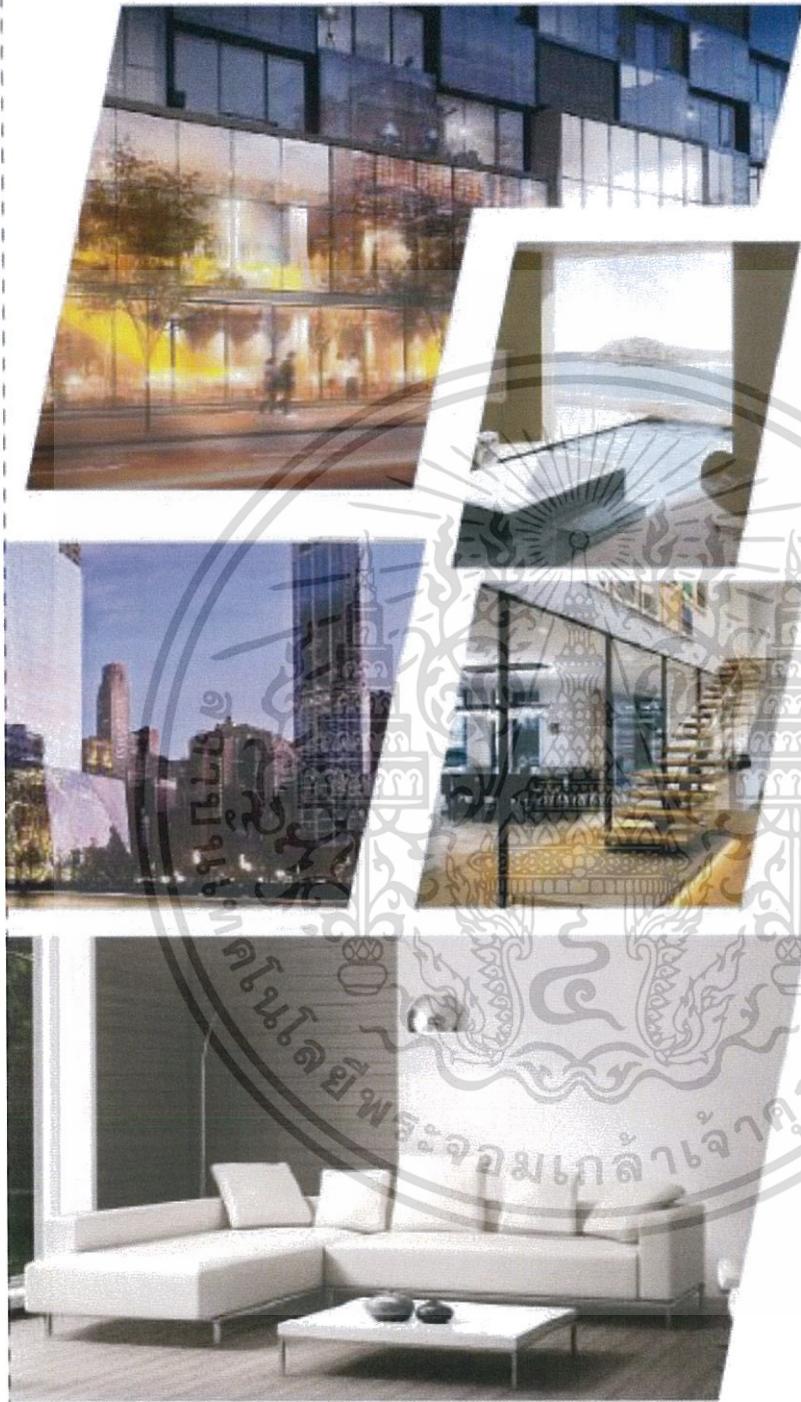
- **Healthcare (สถานเสริมสุขภาพ)**

Roof-lights, doors, machinery screening...

- **Education (สถานศึกษา)**

Digital writing board





Page 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Support

Specifications of Thai Intelligent Film

Item		Mode	specification
Optical Characteristics	Parallel Light Transmission	On	78%
		Off	1%
	Visible Light Transmission	On	75%
		Off	66%
	Viewing angle of screen	On	75%
UV Blocking	On/Off	66%	
Electrical Characteristic	Operating Voltage	On	60V(AC-50/60HZ)
	Threshold Voltage		32V(AC)
	Response Time	On → Off	Tr.2ms
		Off → On	Td.10ms
Power consumption	On	<5W/ m ²	
Electrical Operating	On		Transparent
	Off		Transparent
Thickness of STF			0.35±0.05mm
Max size			3000*1800mm
Working Temperature			-30 °C to 60 °C
Storage Temperature			-30 °C to 70 °C
Laminating Temperature			<120 °C less than 2 hours
Life time	On		>50000Hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ชุดคำสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int a = 0 ;
int b = 0 ;
int c = 0 ;
int d = 0 ;
int i = 0 ;
int j = 0 ;
int k = 0 ;
```

```
int IN1 = A2;
int IN2 = A3;
int IN2 = A4;
int IN2 = A5;
```

```
int LED1 = 4;
int LED2 = 5;
int LED3 = 6;
int LED4 = 7;
int LED5 = 8;
int LED6 = 9;
```

```
int ANLI= 1;
int ANLO= A0;
```

```
int SW1 = 12;
int SW2 = 11;
int SW3 = 10;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void setup () {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  pinMode(IN3,OUTPUT);
  pinMode(IN4,OUTPUT);

  pinMode(LED1,OUTPUT);
  pinMode(LED2,OUTPUT);
  pinMode(LED3,OUTPUT);
  pinMode(LED4,OUTPUT);
  pinMode(LED5,OUTPUT);
  pinMode(LED6,OUTPUT);

  pinMode(ANLI,INPUT);
  pinMode(ANLO,OUTPUT);

  pinMode(SW1,INPUT_PULLUP);
  pinMode(SW2,INPUT_PULLUP);
  pinMode(SW3,INPUT_PULLUP);
  pinMode(PWM6, OUTPUT);

  digitalWrite(IN1,LOW);
  digitalWrite(IN2,LOW);
  digitalWrite(IN3,LOW);
  digitalWrite(IN4,LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(LED1,LOW);
digitalWrite(LED2,LOW);
digitalWrite(LED3,LOW);
digitalWrite(LED4,LOW);
digitalWrite(LED5,LOW);
digitalWrite(LED6,HIGH);
```

```
digitalWrite(ANLO,HIGH);
```

```
Serial.print("START AT LEVEL = ");Serial.println(i);
delay(50); }
```

```
void loop() {
```

```
step1:
```

```
if(Serial.available())
```

```
{
```

```
i = Serial.read() ;
```

```
i = i-48;
```

```
if(i>=0&& i<=4){j = i; digitalWrite(LED5,LOW); goto step2;}
```

```
else if(i == 5){ goto automode;}
```

```
else{ Serial.println("Try Again");}
```

```
}
```

```
a = digitalRead(SW1);
```

```
if(a == 0){ j = j+1 ; if(j>4){j=4;}
```

```
do{ a = digitalRead(SW1);delay(2000);}while(a==0);
```

```
i = 0; goto step2;}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

b = digitalRead(SW2);
if(b == 0){ j = j-1 ; if(j<0){j=0;}
do{ b = digitalRead(SW2);delay(2000);}while(b==0);
i = 0; goto step2;}

```

```

c = digitalRead(SW3);
if(c == 0){ i = 5 ;
do{ c = digitalRead(SW3);delay(2000);}while(c==0);}
if(i == 5){goto automode;}
delay(25);
digitalWrite(LED5,LOW);
goto step1;

```

```

automode :
digitalWrite(LED5,HIGH);
d = analogRead(ANLI);
Serial.print("LIGHT ANALOG = ");Serial.println(d);

```

```

    if( d <= 29)
    { if( j == 1 && d > 27){j = 1;}
      else {j = 0; }}
    else if( d > 29 && d <= 34)
    { if( j == 0 && d <= 31){j = 0;}
      else if( j == 2 && d > 32){j = 2;}
      else {j = 1;}}
    else if( d > 34 && d <= 44)
    { if( j == 1 && d <= 36){j = 1;}
      else if( j == 3 && d > 42){j = 3;}
      else {j = 2;}}
    else if( d > 44 && d <= 60)
    { if( j == 2 && d <= 46){j = 2;}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if( j == 4 && d> 58){j = 4;}
else {j = 3;}}
else
{ if( j == 3 && d<=62){j = 3;}
else {j = 4;}}
if( j == k ){goto step1;}
goto step2;

```

step2:

```

k = j;
switch(j)
{
case 0:
digitalWrite(IN1,HIGH);
digitalWrite(IN2,HIGH);
digitalWrite(IN3,HIGH);
digitalWrite(IN4,HIGH);
digitalWrite(LED1,LOW);
digitalWrite(LED2,LOW);
digitalWrite(LED3,LOW);
digitalWrite(LED4,LOW);
break;
case 1:
digitalWrite(IN1,LOW);
//digitalWrite(IN2,HIGH);
digitalWrite(IN3,LOW);
digitalWrite(IN4,HIGH);
digitalWrite(LED1,HIGH);
digitalWrite(LED2,LOW);
digitalWrite(LED3,LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(LED4,LOW);
break;
```

case 2:

```
digitalWrite(IN1,LOW);
// digitalWrite(IN2,HIGH);
digitalWrite(IN3,LOW);
digitalWrite(IN4,LOW);
digitalWrite(LED1,HIGH);
digitalWrite(LED2,HIGH);
digitalWrite(LED3,LOW);
digitalWrite(LED4,LOW);
break;
```

case 3:

```
digitalWrite(IN1,LOW);
digitalWrite(IN2,LOW);
digitalWrite(IN3,HIGH);
digitalWrite(IN4,LOW);
digitalWrite(LED1,HIGH);
digitalWrite(LED2,HIGH);
digitalWrite(LED3,HIGH);
digitalWrite(LED4,LOW);
break;
```

case 4:

```
digitalWrite(IN1,LOW);
digitalWrite(IN2,HIGH);
digitalWrite(IN3,HIGH);
digitalWrite(IN4,HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
digitalWrite(LED1,HIGH);  
digitalWrite(LED2,HIGH);  
digitalWrite(LED3,HIGH);  
digitalWrite(LED4,HIGH);  
break;  
}  
Serial.print("LEVEL = ");Serial.println(j);  
delay(20);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
คํานวนค่าพลังงานที่กระจกอัจฉริยะป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาหาค่าพลังงานความร้อนที่ลดจากภายนอกสู่ภายในพื้นที่ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร

$$\text{สูตร } Q = \frac{K_g * A(T_2 - T_1)}{L_g} + \frac{K_a * A(T_2 - T_1)}{L_a} + \frac{K_g * A(T_2 - T_1)}{L_g}$$

Q = พลังงานความร้อนที่ป้องกัน (watt)

K_g = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระจก = 1.05 w/m^2

K_a = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ = 0.2062 w/m^2

A = พื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง = 1 m^2

L_g = ขนาดความหนาของกระจก = 0.006 m

L_a = ขนาดความบางของอากาศ = 0.012 m

T_2 = อุณหภูมิภายนอกพื้นที่ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร(T)

T_1 = อุณหภูมิภายในพื้นที่ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร(T)

จากตารางที่ 4.8 นำมาหาส่วนต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน ($T_2 - T_1$) และค่าพลังงานความร้อนที่ป้องกัน(Q)

Time	T2-T1 (°C)	Q (watt)
11:30 AM	1.57	551.03
12:00 PM	1.90	668.26
12:30 PM	1.63	574.47
1:00 PM	3.10	1090.33
1:30 PM	5.07	1782.04
2:00 PM	6.20	2180.65
2:30 PM	8.10	2848.92
3:00 PM	7.77	2731.68
3:30 PM	6.97	2450.30
4:00 PM	7.10	2497.20
4:30 PM	3.60	1266.19
5:00 PM	2.17	762.06
Q(average)	1616.93	
T2-T1 (average)	4.60	

จะได้ค่า

$$Q_{avr} = 1616.19 \text{ watt และ}$$

$$T2-T1 (\text{°C}) (\text{average}) = 4.60 \text{ °C}$$

คิดลักษณะการใช้งานกระจกอัจฉริยะเท่ากับ 12 ชั่วโมงต่อวัน

พลังงานเฉลี่ยของแต่ละวันสามารถคำนวณได้จากสูตร $E = \frac{Q_{avg} * 3600 * 12}{1000000} \text{ MJ}$

$$Q_{avr} = \text{พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่ป้องกัน (watt)}$$

$$E = \text{พลังงานความร้อนเฉลี่ยที่ป้องกันต่อวัน (MJ)}$$

สามารถนำมาหาค่าพลังงานที่ป้องกันได้ดังนี้

$$E = \frac{1616.93 * 3600 * 12}{1000000}$$


$$E = 69.851261 \text{ MJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หมายเหตุ ค่าที่คำนวณดังกล่าวเป็นการคำนวณจากอุดมคติไม่คำนึงถึงค่าประสิทธิภาพและการสูญเสียต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
คํานวนค่าการประหยัดค่าใช้จ่ายจากเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งกระจกฉนวนกันความร้อน
ในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 10000 BTU หรือคิดเป็น 3 Kw ใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง
หาค่าประสิทธิภาพของแอร์ในอุดมคติ(COP)โดยกำหนดให้อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 °C

$$COP = \frac{1}{\frac{(273+T)}{(273+25)} - 1}$$

และนำค่า COP ดังกล่าวมาหารรายจ่ายต่อเดือน

จากสูตร $Cost = \frac{CC * 12 * 0.8 * 30}{COP}$ โดย

CC คือค่าความจุความจุความเย็น(cooling capacity) และ ค่าไฟเท่ากับ 3.9 บาทต่อหน่วย

โดยเทียบระหว่างช่วงที่อุณหภูมิที่สูงที่สุดของวันที่ 17 เมษายน 2561 ที่ 36 °C

และอุณหภูมิที่ลดจากช่วงที่อุณหภูมิที่สูงที่สุดของวันที่ 17 เมษายน 2561 ที่ 36.00 °C ลงมา 4.60 °C (ภาคผนวก ควย) เหลือ 31.40 °C

จะได้ค่า COP ในช่วงอากาศร้อนที่สุด เท่ากับ

$$COP_{hottest} = \frac{1}{\frac{(273 + 36.00)}{(273 + 25)} - 1}$$

$$COP_{hottest} = 27.09$$

นำค่า COP ดังกล่าวมาหารรายจ่ายต่อเดือนได้

$$Cost_{hottest} = \frac{3 * 12 * 0.8 * 30}{27.90}$$

$$Cost_{hottest} = 124.38 \text{ baht}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้ค่า COP ในช่วงอากาศร้อนที่สุดที่ผ่านการกรองจากกระจกอัจฉริยะ เท่ากับ

$$COP_{reduce} = \frac{1}{\frac{(273 + 31.40)}{(273 + 25)} - 1}$$

$$COP_{reduce} = 46.5423$$

นำค่า COP ดังกล่าวมาหารายจ่ายต่อเดือนได้

$$Cost_{reduce} = \frac{3 * 12 * 0.8 * 30}{46.5423}$$

$$Cost_{reduce} = 72.40 \text{ baht}$$

จะสรุปได้ว่ากระจกอัจฉริยะสามารถลดค่าใช้จ่ายต่อเดือนเท่ากับ $124.38 - 72.40 = 51.98$ บาทต่อเดือน

**หมายเหตุ ค่าที่คำนวณดังกล่าวเป็นการคำนวณจากอุดมคติไม่คำนึงถึงค่าประสิทธิภาพและการสูญเสียต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PDLC film's energy consumption and performance for light filtration system

Wiwat Keyoonwong, Werachet Khan-ngern
Paritpong Tavichaiyuth, Viritpol Ruxsri and Vishnu Raksasataya
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1 Soi Chalongkrung 1, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, Office: +66 2329 8000 ext 3515, 3939
Email: wiwat.ke.kmitl.ac.th

Abstract - This paper proposes to record the result of energy consumption and light transmission rate when using PDLC film with green insulated glass, at size 1x1 sq.m. with 6-12-6 mm. standard thickness. The result of energy consumption and performance in protecting from the sun light are explained. The PDLC energy consumption characteristic and its principle are described. The methodology to test the performance of PDLC film with green insulated glass also included.

The result indicated that different voltage source level will also be able to affect the light transmission rate. From experiment found that at level 0 volt had a light transmission rate at 22.3 percent, level 15 volts at 28.8 percent, level 30 volts at 32.0 percent, level 45 volts at 33.2 percent, level 55 volts at 33.4 percent and level 70 at 34.0 percent, respectively. All of these values were compared with direct light intensity from outside. In the future, it can be used in purpose for energy saving inside building.

Index Terms- PDLC film, Green insulated glass, Energy consumption, performance.

I. INTRODUCTION

In the present, buildings face with losing of energy for adjusting temperature and light intensity to be suitable inside building. And the most of heat and light are from outside through the window glass, that makes the glass window play a big role in energy consumption inside building. For example, while receiving heat from the sun. it is needed to make inside building cooler. and when there is enough light intensity from outside, so it does not need to use the light source inside building and these will reduce the cost from adjusting light source and temperature inside building.

Currently, there are products called Intelligent film. And these products are made from electrolyte cells that have the outstanding properties with abilities to change the amount of transmission light by controlling the voltage level for reducing the heat and make use from the light in daylight.

So, this paper aims to study about PDLC film energy consumption and light transmission rate for each of voltage

level applied to be use in deciding for selecting the alternative way to save cost from using Intelligent film.

II. PRINCIPLE OF PDLC FILM

A. Mechanism of PDLC film

PDLC film is from Polymer Dispersed Liquid Crystals, mechanism of switching in PDLC film is arrangement of liquid crystal molecules. Switch between electrodes through electric field. And electric field property will be depended on applied voltage source level.

PDLC film will consist of 2 layers of glass that coated with Interlayer film inside followed by liquid crystal in form of thin film and coated by electric conductor. In the middle layer will contain liquid crystal layer that is for protecting from sunlight and has a voltage source for controlling transmission of light.

Controlling the sunlight intensity or amount of light that pass through inside building cannot be done but it can use to control film to be translucent or opaque state. When apply voltage from source to PDLC film, liquid crystal molecules will arrange in straight form and make sunlight be able to pass. But when stop applying voltage from source will cause the sunlight be unable to pass or just a little bit of it. And the translucent level will depend on the amount of liquid crystal.

In normal state PDLC film will be in opaque or white state because the arrangement of liquid crystal molecule is scatter randomly but when voltages are applied to these molecules, liquid crystal will be arranged orderly.

III. ENERGY CONSUMPTION AND PERFORMANCE TEST PROCEDURE

A. Energy consumption test

In this test, by applying different voltage levels from range 0 to 80 volts to film will cause various results of energy consumption and measure the appearance power.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

real power and reactive power with power meter to find the power factor from this result, and this test is proved at the temperature room, approximately 27.0 Celsius.

B. Light transmission rate test

The light transmission rate test will be done by assembling Intelligent film that include green insulated glass with dense box, then measure the normal light from outside and also measure the light inside box with each level of translucent in each voltage level by dividing voltage level into 6 levels, level 0 is at 0 volts, level 1 is at 15 volts, level 2 is at 30 volts, level 3 is at 45 volts, level 4 is at 55 volts and level 5 is at 70 volts. Then measure the light value in lux's unit every 30 minutes start at 11.30 a.m. to 17.00 p.m. (GMT+7) on 12, 15 and 17 March 2018 at corridor, ECC building 3rd floor, KMITL, Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

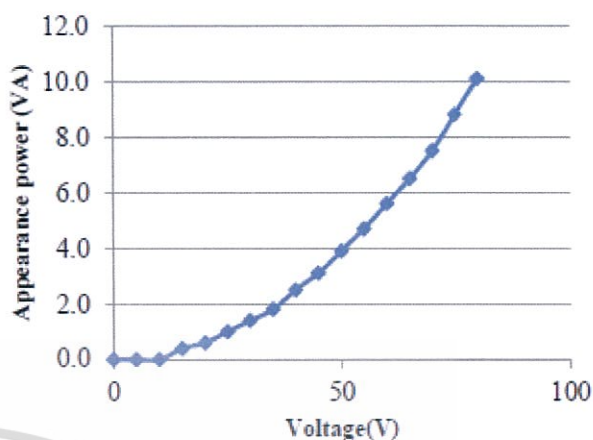


Fig.1 Appearance power film for each voltage level

IV. ENERGY CONSUMPTION AND PERFORMANCE TEST RESULTS

A. Energy consumption result

The energy consumption result will be shown in table.1, and from the result table, it can be shown in appearance power, real power, reactive power, current and power factor as following Fig.1, 2,3, 4 and 5 accordingly. In axis Y will show the energy usage and axis X show the applied voltage.

Table.1 Energy consumption for each voltage level

Voltage	V(V)	I(A)	P(W)	Q(VAR)	S(VA)	P.F.
0	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	15.7	0.023	0.1	-0.3	0.4	0.250
20	20.4	0.031	0.2	-0.6	0.6	0.333
25	25.2	0.038	0.3	-0.9	1.0	0.300
30	30.0	0.046	0.5	-1.3	1.4	0.357
35	34.8	0.053	0.6	-1.7	1.8	0.333
40	40.5	0.062	0.8	-2.4	2.5	0.320
45	34.8	0.069	1.0	-2.9	3.1	0.323
50	50.6	0.078	1.3	-3.7	3.9	0.333
55	55.4	0.085	1.5	-4.4	4.7	0.319
60	60.3	0.093	1.8	-5.3	5.6	0.321
65	64.9	0.100	2.1	-6.1	6.5	0.323
70	69.4	0.107	2.4	-7.1	7.5	0.320
75	75.3	0.116	2.8	-8.3	8.8	0.318
80	80.5	0.124	3.2	-9.5	10.1	0.317

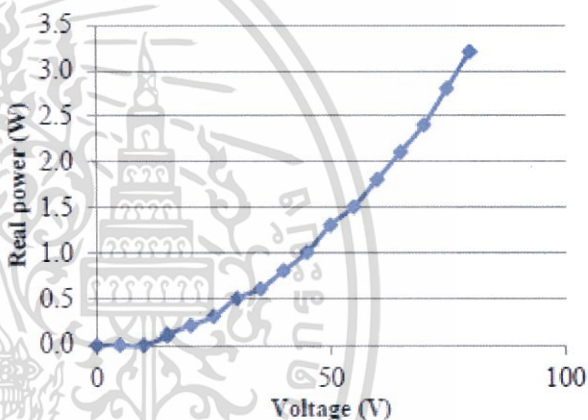


Fig.2 Real power film for each voltage level

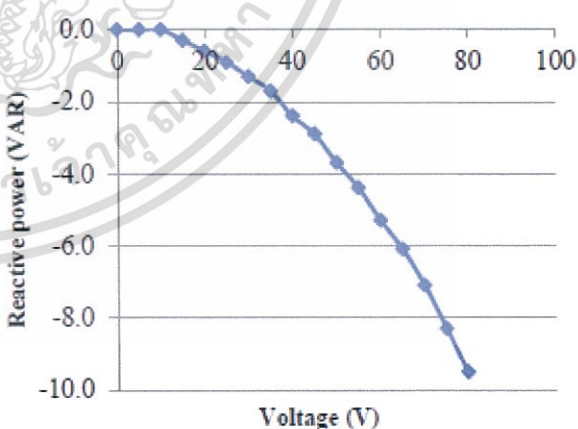


Fig.3 Reactive power film for each voltage level

The graph results from Fig.1,2 and 3 are exponential according to the equation $S= I^2 \cdot Z$, while Z value is PDLC impedance that is constant and the current that is shown in Fig. 4 at linear form as equation $V= I \cdot Z$, when V is also linear input.

Table.2 Light intensity result on 12 March 2018

Time	Light Intensity(lux)						
	Outer	Inner					
		0	1	2	3	4	5
11.00	16441	3122.7	3972.3	4768.7	4884.7	4892.3	4925.0
11.30	17432	3229.7	3303.7	4975.3	5016.7	7006.0	7467.7
12.00	14225	3256.3	3224.7	4933.0	4966.3	4959.3	4969.3
12.30	12077	3239.0	4493.7	4893.0	4928.3	4933.0	4933.7
13.00	14255	3073.3	3081.0	4777.7	4861.3	4875.0	4874.0
13.30	9040	2008.0	2168.0	3154.3	3252.0	3254.0	3290.0
14.00	13163	2267.0	2785.3	3278.7	3341.3	3332.0	4412.7
14.30	10505	2274.7	2857.3	3330.3	3306.7	3332.7	4470.3
15.00	9213	2259.3	2751.0	3236.3	3247.3	3286.0	3301.7
15.30	9162	1736.7	1830.3	2282.3	2512.3	2823.0	2956.0
16.00	9057	1568.0	1844.7	2173.7	2182.0	2191.7	2206.3
16.30	8043	1093.0	1352.3	1504.0	1516.3	1516.3	1519.3
17.00	7235	1080.7	1174.7	1223.3	1267.0	1302.0	1324.3

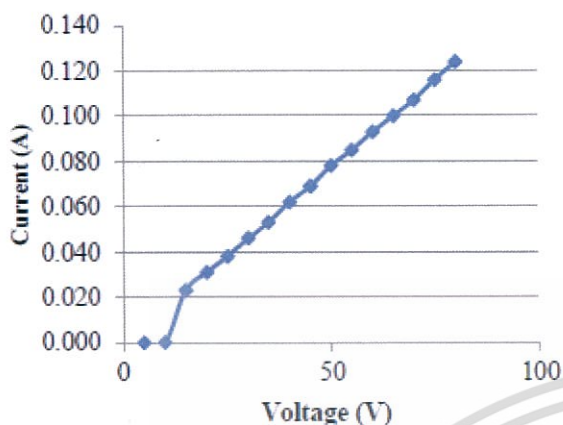


Fig.4 Current film for each voltage level

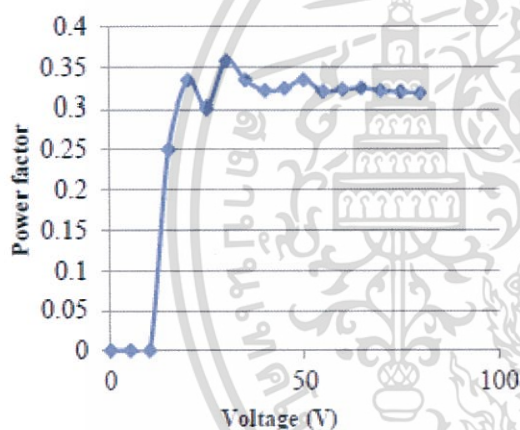


Fig.5 Current film for each voltage level

In Fig.5 shows that increasing voltage will cause a rising of power factor and be steady at about 0.3-0.35.

B. Light transmission rate result

The light transmission rate result will be shown in table.2, 3, 4 and 5. And light intensity unit will be used as lux.

Table.3 Light intensity result on 15 March 2018

Time	Light Intensity(lux)						
	Outer	Inner					
		0	1	2	3	4	5
11.00	9465	2267.0	2584.7	2942.3	3041.0	3276.3	3780.7
11.30	11138	2301.0	2928.7	3057.0	3102.7	3318.7	4049.7
12.00	9888	2019.7	2934.7	3100.3	3664.3	3431.7	2971.7
12.30	9572	2798.3	4102.0	4322.3	4275.0	4191.3	4136.7
13.00	10762	2335.7	3193.7	2994.7	3079.0	2784.7	3250.0
13.30	8399	2407.3	3391.0	3520.3	3478.3	3497.7	3472.3
14.00	10342	2111.7	2818.0	2732.7	2907.0	2866.0	2910.0
14.30	7850	1854.0	2455.0	2580.7	2593.7	2602.0	2606.0
15.00	7129	1728.7	2401.0	2522.3	2544.0	2555.3	2569.3
15.30	6786	1044.7	1411.3	1503.3	1641.7	2215.7	2312.0
16.00	5908	1335.3	1832.3	1916.0	1929.3	1921.3	1925.0
16.30	4975	1104.3	1573.3	1671.0	1672.0	1674.7	1682.0
17.00	3585	1127.0	1135.7	1131.0	740.3	732.7	723.3

Table.4 Light intensity result on 17 March 2018

Time	Light Intensity(lux)						
	Outer	Inner					
		0	1	2	3	4	5
11.00	9684	2344.0	3282.7	3501.3	3548.3	3413.7	3479.0
11.30	9470	2306.0	3241.3	3384.7	3347.7	3364.7	3377.3
12.00	10382	2209.7	3241.7	3427.0	3496.3	3511.0	3504.0
12.30	8026	1981.0	2803.7	2917.3	2944.0	2954.3	2980.7
13.00	8594	2016.3	2855.0	2874.3	2778.3	2858.0	2890.0
13.30	7827	2030.7	2800.3	2924.3	2920.0	2921.7	2929.0
14.00	9549	1527.3	2061.7	3165.7	3081.0	3108.3	2716.0
14.30	8571	2072.7	1831.3	1914.3	2330.0	3099.3	3084.0
15.00	6997	1783.3	2405.3	2530.7	2543.7	2580.0	2592.7
15.30	5842	1536.7	2120.0	2210.0	2223.3	2221.7	2234.3
16.00	5445	1096.3	1709.0	2052.3	2118.0	2108.3	2085.7
16.30	4985	1206.3	1696.0	1793.0	1778.0	1755.0	1712.0
17.00	3450	912.7	1235.0	1272.3	1288.3	1288.3	1287.3

From the table.2,3 and 4 can be calculated into the result in table.5 with average value and be compared to percentage value. It shows when increasing voltage level on film until it reaches level 2, at 30 V, the arrangement of liquid crystal will meet the saturated point or translucent level of PDLC reach the steady state.

Table.5 Light intensity percentage average result

Time	Light Intensity(percent)						
	Outer	Inner					
		0	1	2	3	4	5
11.00	100	22.4	28.5	32.1	32.8	33.2	35.3
11.30	100	21.2	26.5	30.6	30.7	35.2	38.3
12.00	100	21.5	27.9	33.0	35.2	34.5	32.9
12.30	100	26.9	38.3	40.7	40.7	40.5	40.4
13.00	100	22.2	28.2	31.6	31.7	31.1	32.7
13.30	100	25.6	33.4	38.1	38.2	38.3	38.4
14.00	100	17.9	23.3	28.2	28.6	28.5	30.0
14.30	100	23.2	26.6	29.0	30.6	33.7	37.2
15.00	100	24.8	32.6	35.6	35.8	36.1	36.3
15.30	100	20.2	25.7	28.3	29.9	33.8	34.9
16.00	100	20.0	27.6	31.4	31.9	31.8	31.7
16.30	100	20.0	27.5	29.4	29.4	29.2	29.0
17.00	100	24.3	27.9	28.4	25.2	25.3	25.3
Average	100	22.3	28.8	32.0	32.4	33.2	34.0

V. CONCLUSION

A. Energy consumption conclusion

From the observation, when apply voltage source to PDLC film, started from 15 to 80 volts. Liquid crystal molecules will arrange themselves more orderly according to the rising of voltage level, that lets more amount of light be able to pass through the film. From the result in table.1, it was found that the relation between applied voltage level and energy consumption is similar to exponential graph due to the theory equation $S = I^2Z$, so PDLC current value is in linear form and that cause power result is in exponential form. For example, when applying voltage level at 30 volts. it will cause appearance energy consumption at 1.4 VA. While applying voltage level at 60 volts. It will cause at 5.6 VA. And it was also found that most of the result have the power factor approximately at 0.30-0.33.

B. Light transmission rate conclusion

From the transmission rate result, it was found that when applying more voltage to film. The light transmission rate will increase as well. Meanwhile, the rising of light transmission rate will not consistent with the applied voltage level as it should be because of PDLC characteristic. From the result we can conclude that liquid crystal inside PDLC will rise and go to steady state in approximately at 30 volts. For example, from table.5, at 30 volts cause light transmission rate at 32 percent. While at 70 volts cause light transmission rate at 34 percent. It will see that the difference of between 30 and 70 volts are just only 2 percent. So, it will be waste to apply a high power to film for a long time, it should be used just only in extreme condition such as poor outside weather.

REFERENCES

- [1] Antonio Piccolo, Francesca Simone. "Performance requirements for electrochromic smart window" Journal of Building Engineering 3. (2015). 94-103.
- [2] Carl M. Lampert. "Smart switchable glazing for solar energy and daylight control" Solar Energy Materials & Solar Cells 52. (1998). 207-221.
- [3] E.S. Lee, D.L. DiBartolomeo. "Application issues for large-area electrochromic windows in commercial buildings" Solar Energy Materials & Solar Cells 71. (2002). 465-491.
- [4] S. Papaefthimiou, E. Syrrakou, P. Yianoulis. "Energy performance assessment of an electrochromic window" Thin Solid Films 502. (2006). 257-264.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างอัจฉริยะโดยควบคุมผ่านเซนเซอร์รับแสง

INTELLIGENT WINDOW CONTROLLING BY USING LIGHT SENSOR

ปริญญ์พงศ์ ทวีชัยยุทธ วิวิทย์พล รัศมีศรี และ วิญญู รักษาสัตย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: prasopchok_ho@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนางจรปรับระดับการจ่ายแรงดันให้แก่กระจกอัจฉริยะ เพื่อให้สามารถเลือกปรับระดับแรงดันที่จะจ่ายให้แก่ กระจกอัจฉริยะ ได้หลากหลายระดับตามแต่ระดับความเข้มแสงในแต่ละเวลาได้อย่างเหมาะสมหรือตามแต่ความต้องการของผู้ใช้

ผลการศึกษาพบว่า แผงตัววงจรปรับระดับการจ่ายแรงดันที่ได้ ออกแบบไว้สำหรับ กระจกอัจฉริยะ สามารถใช้งานได้ตามที่เคื่องเป้าเอาไว้ ทั้ง วงจรการควบคุมแบบสวิตซ์และวงจรการควบคุมในรูปแบบอัตโนมัติโดยใช้ เซนเซอร์วัดค่าแสง รวมถึงการกำหนดค่าอนาล็อกเพื่อใช้ในการควบคุมระดับแรงดันที่จะจ่ายไปยังกระจกอัจฉริยะ ในแต่ละระดับความเข้มแสง ซึ่งได้ถูก กำหนดเอาไว้ดังนี้ ระดับ 0 ทำงานที่ 0 โวลต์, ระดับ 1 ที่ 15 โวลต์, ระดับ 2 ที่ 30 โวลต์, ระดับ 3 ที่ 45 โวลต์ และ ระดับ 4 ที่ 70 ซึ่งในอนาคตจะสามารถ นำมาใช้ เพื่อวัตถุประสงค์ในการประหยัดพลังงานภายในอาคาร ได้จริง

ABSTRACT

THIS THESIS AIMED TO DESIGN AND DEVELOP THE VOLTAGE CONTROL CIRCUIT FOR INTELLIGENT WINDOW IN ORDER TO ADJUST THE VOLTAGE LEVEL FOR APPLYING TO INTELLIGENT WINDOW ACCORDING TO THE LEVEL OF LIGHT INTENSITY OR USER REQUIREMENT.

THE RESULT INDICATED THAT VOLTAGE CONTROL CIRCUIT DESIGNED FOR INTELLIGENT WINDOW CAN BE USED AS EXPECTED. THAT ALSO INCLUDED BOTH MANUAL MODE AND AUTOMATIC MODE BY USING LIGHT SENSOR (LDR). BY USING LIGHT INTENSITY TO DETERMINE ANALOGUE VALUE FOR CONTROLLING THE VOLTAGE CONTROL CIRCUIT IN INTELLIGENT WINDOW. AND THESE WERE THE VOLTAGE LEVEL FOR EACH LEVEL, LEVEL 0 AT 0 VOLT, LEVEL 1 AT 15 VOLTS, LEVEL 2 AT 30 VOLTS, LEVEL 3 AT 45 VOLTS AND LEVEL 4 AT 70 VOLTS. IN THE FUTURE, IT CAN BE USED IN PURPOSE FOR ENERGY SAVING INSIDE BUILDING.

1 บทนำ

ทุกวันนี้ในอาคารต่าง ๆ นั้นประสบปัญหาการสูญเสียพลังงานเพื่อใช้ในการปรับอากาศและความสว่างภายในตัวอาคารให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งความร้อนและแสงสว่างส่วนใหญ่จะได้รับมาจากภายนอกโดยผ่านทางกระจก ทำให้กระจกนั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญในเรื่องใช้พลังงานภายในตัวอาคาร

ทั้งนี้ในปัจจุบัน ได้มีการผลิต ฟิล์มอัจฉริยะ (Intelligent films) ขึ้นมา ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีหลายชั้นที่โดดเด่นด้วยความสามารถในการเปลี่ยนรูปแบบการส่งผ่านแสงได้ภายใต้การควบคุมของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะติดตั้งไว้ที่กระจกหน้าต่างภายในอาคาร เพื่อช่วยในการลดความร้อน และการใช้ประโยชน์แสงในช่วงกลางวันที่มาขึ้นด้วย

การควบคุมการส่องผ่านของแสงอาทิตย์เพื่อประโยชน์ในการมองเห็น และการควบคุมการส่องผ่านของอุณหภูมิ โดยที่จะเจาะจงพัฒนาที่ตัว กระจกอัจฉริยะ ให้สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติไปตามเวลาเพื่อตอบสนองต่อสภาพอากาศ (อุณหภูมิ ความเข้มแสงแดด ความสว่างท้องฟ้า) หรือตามความต้องการของผู้ใช้ ผ่านการควบคุมโดยวงจรควบคุมและปรับระดับความสว่างโดยใช้ เซนเซอร์ตรวจจับแสงในการส่งค่าไปยังวงจรควบคุม เพื่อปรับสภาพความสว่างภายในอาคารให้เป็นไปตามที่ต้องการ

2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีของฟิล์มชนิด PDLC

ฟิล์ม PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystals) มีกลไกการทำงานเป็นการจัดเรียงตัวของผลึกเหลวที่เปลี่ยนสถานะผ่านค่าความเข้มสนามไฟฟ้า และคุณสมบัติของตัวฟิล์มจะแปรเปลี่ยนไปตามระดับแรงดันที่จ่ายเข้าไปจะประกอบไปด้วยกระจก 2 ชั้นที่เคลือบฟิล์มไว้ตรงชั้นในและตามด้วยผลึกเหลวในรูปของฟิล์มและเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้า และในส่วนชั้นกลางจะบรรจุผลึกเหลวที่ใช้ปกป้องตัวกระจกจากแสงอาทิตย์และมีแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับปรับค่าความโปร่งใสของตัวฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจ่ายแรงดันจากแหล่งจ่ายเข้าสู่ตัวฟิล์ม โมเลกุลของผลึกเหลวจะจัดเรียงตัวในรูปแบบที่เป็นระเบียบ และทำให้แสงอาทิตย์สามารถผ่านเข้ามาได้ง่ายขึ้น แต่เมื่อหยุดจ่ายแรงดันเข้าสู่ตัวฟิล์มจะทำให้อนุภาคผลึกเหลวกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้แสงอาทิตย์มีการส่องผ่านที่ยากขึ้น ซึ่งหมายความว่าระดับความโปร่งใสจะขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของผลึกเหลว

2.2 กระจกเขียวตัดแสง

คุณสมบัติของกระจกชนิดนี้จะสามารถใช้ในการลดแสงและความร้อนได้ดีในระดับหนึ่งขึ้นกับชนิดสีที่ถูกผลิต โดยกระจกสีเขียวจะเป็นสีที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะในการเลือกสีกระจกนั้นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาอยู่ด้วย ซึ่งก็คือ ค่าการส่องผ่านของแสง และค่าการส่งผ่านของความร้อน ซึ่งสีเขียวนี้ถือได้ว่าเป็นสีที่มีค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าเหมาะสมที่สุด นั้นหมายถึง มีค่าการส่องผ่านความร้อนและค่าการมองเห็นรวมถึงความคิดเพี้ยนของสีเมื่อมองผ่านกระจกไม่มากนักเกินไป

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Uno Rev 3

Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แพลตฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์แบบโอเพนซอร์สบนพื้นฐานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน บอร์ด Arduino สามารถอ่านข้อมูลอินพุตได้เช่นแสงไฟบนเซ็นเซอร์และเปลี่ยนเป็นสัญญาณเอาต์พุตเช่น เปิดใช้งานมอเตอร์ หรือ เปิดไฟ LED สามารถกำหนดให้บอร์ดว่าจะทำงานอย่างไรโดยส่งชุดคำสั่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด ในการทำเช่นนี้ต้องใช้ภาษาการเขียนโปรแกรม Arduino ขึ้นอยู่กับวงจร และ Arduino Software (IDE) ขึ้นอยู่กับกระบวนการทำงานประมวลผล

2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ที่มีความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากวงจรหนึ่งสู่อีกวงจรหนึ่ง โดยใช้การเหนี่ยวนำระหว่างทั้งสองขดลวด ซึ่งทำให้สามารถแปลงพลังงานจากวงจรหนึ่งสู่วงจรหนึ่งได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนค่าความถี่และทั้งยังสามารถเลือกระดับแรงดันที่ออกสู่วงจรที่สองได้อีกด้วย ถ้าหากปรับค่ากระแสไฟ ในขดลวดก็จะสามารถปรับสร้างค่าสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันได้ด้วย ซึ่งพลังงานที่ผ่านจากวงจรปฐมภูมิสู่ทุติยภูมิก็ผ่านได้โดยสนามแม่เหล็กดังกล่าว

2.5 ตัวตรวจจับแสง

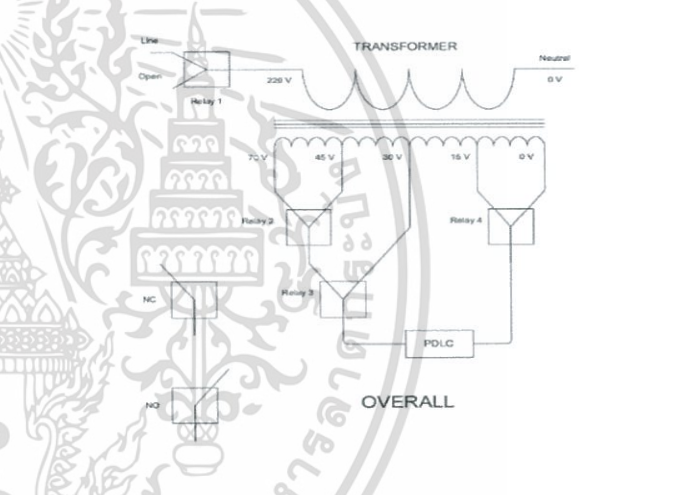
Photo resistors หรือที่เรียกกันว่า เซนเซอร์ปรับค่าตามแสง (Light Dependent Resistors) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับแสงเพื่อบ่งบอกถึงปริมาณความเข้มของแสงที่เกิดขึ้น ในสภาวะที่มีค่านี้นั้นค่าความต้านทานของเซนเซอร์จะมีค่าที่สูงมาก อาจมีค่ามากถึง 1 เมกะโอห์ม แต่เมื่อตัวเซนเซอร์

กระทบกับแสงที่เพิ่มที่ค่าความต้านทานก็จะลดลง อาจจะเหลือเพียงไม่กี่โอห์ม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงที่ตัวเซนเซอร์วัดได้

3 การออกแบบทดสอบและสร้างระบบการทำงาน

3.1 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันกระแสสลับ

การทำกรออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการเปลี่ยนระดับแรงดันที่จะจ่ายไปยังแผ่นฟิล์มอัจฉริยะ ซึ่งมีช่วงการทำงานในช่วงแรงดันกระแสสลับที่แรงดัน 0 – 80 โวลต์ ในการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ทำงานโดยการตัดต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างหม้อแปลงปรับระดับแรงดันชนิด Tap change กับฟิล์ม PDLC โดยมีโมดูลรีเลย์ ขณะเดียวกันก็จะใช้เซ็นเซอร์รับแสงในการกำหนดระดับแรงดันด้วยเช่นกันสำหรับการทำงานแบบอัตโนมัติผ่านการรับค่าความเข้มแสงภายนอกเป็นค่าเทียบระดับ



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการต่อวงจรระหว่างหม้อแปลง tap change กับฟิล์มผ่านรีเลย์โดยรวม

4 ผลการทดสอบกระจกอัจฉริยะ

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพฟิล์มอัจฉริยะ

จากการสังเกตพฤติกรรมของฟิล์มอัจฉริยะ จะพบว่าเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่ฟิล์มตั้งแต่ระดับแรงดันที่ 15 โวลต์จนถึงค่าแรงดัน 80 โวลต์ ตัวอนุภาคภายในที่อยู่ในแผ่นฟิล์มจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้แสงสามารถส่องผ่านได้มากขึ้นและแปรผันตรงกับระดับแรงดันที่จ่ายให้กับแผ่นฟิล์ม ซึ่งหมายความว่าหากจ่ายแรงดันให้เรียงตั้งแต่ระดับแรงดันที่ 15 โวลต์ ถึง 80 โวลต์ แผ่นฟิล์มจะเพิ่มระดับความโปร่งแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในขณะเดียวกัน ระดับความต่างการโปร่งแสงของแผ่นฟิล์มก็จะลดลงเรื่อย ๆ เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ที่ระดับความต่างระหว่าง

แรงดันที่ 15 กับ 30 โวลต์ จะเห็นความแตกต่างของระดับการโปร่งแสงได้ชัดกว่าที่ระดับความต่างระหว่างที่ 30 กับ 45 โวลต์

ตารางที่ 1 ผลการใช้พลังงานของฟิล์มPDLCที่ระดับแรงดันต่างๆ

แรงดัน	V(V)	I(A)	P(W)	Q(VAR)	S(VA)	P.F.
0	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
15	15.7	0.023	0.1	-0.3	0.4	0.250
20	20.4	0.031	0.2	-0.6	0.6	0.333
25	25.2	0.038	0.3	-0.9	1.0	0.300
30	30.0	0.046	0.5	-1.3	1.4	0.357
35	34.8	0.053	0.6	-1.7	1.8	0.333
40	40.5	0.062	0.8	-2.4	2.5	0.320
45	34.8	0.069	1.0	-2.9	3.1	0.323
50	50.6	0.078	1.3	-3.7	3.9	0.333
55	55.4	0.085	1.5	-4.4	4.7	0.319
60	60.3	0.093	1.8	-5.3	5.6	0.321
65	64.9	0.100	2.1	-6.1	6.5	0.323
70	69.4	0.107	2.4	-7.1	7.5	0.320
75	75.3	0.116	2.8	-8.3	8.8	0.318
80	80.5	0.124	3.2	-9.5	10.1	0.317

จากที่ได้พิจารณาผลการใช้กำลังไฟที่จากการทดสอบแผ่นฟิล์มและพฤติกรรมระดับการโปร่งแสงที่ระดับแรงดันค่าต่าง ๆ จึงมีความเห็นอันสมควรว่า ถ้าหากต้องการแบ่งการปรับระดับของแผ่นฟิล์มออกเป็น 5 ระดับควรจะเป็นระดับที่ 0 15 30 45 และ 70 โวลต์ โดยระดับค่าความโปร่งใสสำหรับฟิล์มขนาด 1 ตารางเมตร ที่แนะนำจะอยู่ที่ ระดับ 45 โวลต์ เมื่อพิจารณาจากระดับการใช้พลังงาน และ ระดับความโปร่งแสงที่ปรากฏ

4.2 การทดสอบการส่องผ่านของแสงของกระจกอัจฉริยะ

ในขั้นถัดไปคือการทดสอบการส่องผ่านของแสงของกระจกอัจฉริยะ โดยทำการประกอบชุดกระจกอัจฉริยะเข้ากับกล่องที่ปิดหนึ่งด้านแล้วคลุมด้วยผ้าใบเพื่อกั้นแสงภายนอก เปรียบเทียบความเข้มแสงปกติภายนอกและความเข้มแสงภายในที่ผ่านการกรองแสงที่ระดับความโปร่งใสของฟิล์มPDLC ในช่วงระดับแรงดัน 0 15 30 45 70 โวลต์วัดค่าดังกล่าวทุก 30 นาทีและสุ่มบันทึกผลมาสามค่านำมาเฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 17.00 น. ในวันที่ 12 15 และ 18 เดือนมีนาคม ปี พ.ศ.2561 ซึ่งผลการบันทึกผลมีดังนี้

ตารางที่ 2 บันทึกผลการการส่องผ่านของแสงเฉลี่ยของทั้งสามวัน

เวลา	ค่าความเข้มแสง (lux)						
	ภายนอก	ภายใน					
		0	1	2	3	4	5
11.00	11863	2578	3280	3737	3825	3861	4062
11.30	12680	2612	3158	3806	3822	4563	4965
12.00	11498	2495	3134	3820	4042	3967	3815
12.30	9892	2673	3800	4044	4049	4026	4017
13.00	11204	2475	3043	3549	3573	3506	3671
13.30	8422	2149	2786	3200	3217	3224	3230
14.00	11018	1969	2555	3059	3110	3102	3346
14.30	8975	2067	2381	2608	2743	3011	3387
15.00	7780	1924	2519	2763	2778	2807	2821
15.30	7263	1439	1787	1999	2126	2420	2501
16.00	6803	1333	1795	2047	2076	2074	2072
16.30	6001	1135	1541	1656	1655	1649	1638
17.00	4757	1040	1182	1209	1099	1108	1112
Average	9846	2157	2747	3125	3176	3277	3386

ตารางที่ 3 บันทึกผลเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงของทั้งสามวัน

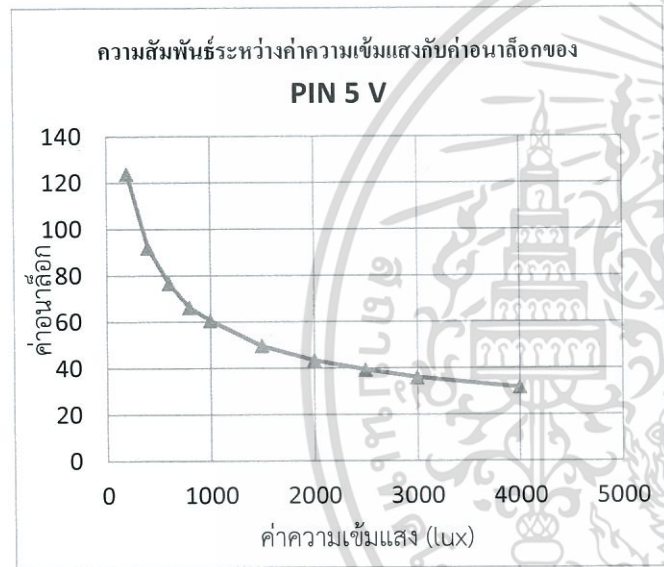
เวลา	ค่าความเข้มแสง (เปอร์เซ็นต์)						
	ภายนอก	ภายใน					
		0	1	2	3	4	5
11.00	100	22.4	28.5	32.1	32.8	33.2	35.3
11.30	100	21.2	26.5	30.6	30.7	35.2	38.3
12.00	100	21.5	27.9	33.0	35.2	34.5	32.9
12.30	100	26.9	38.3	40.7	40.7	40.5	40.4
13.00	100	22.2	28.2	31.6	31.7	31.1	32.7
13.30	100	25.6	33.4	38.1	38.2	38.3	38.4
14.00	100	17.9	23.3	28.2	28.6	28.5	30.0
14.30	100	23.2	26.6	29.0	30.6	33.7	37.2
15.00	100	24.8	32.6	35.6	35.8	36.1	36.3
15.30	100	20.2	25.7	28.3	29.9	33.8	34.9
16.00	100	20.0	27.6	31.4	31.9	31.8	31.7
16.30	100	20.0	27.5	29.4	29.4	29.2	29.0
17.00	100	24.3	27.9	28.4	25.2	25.3	25.3
Average	100	22.3	28.8	32.0	32.4	33.2	34.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลการบันทึกสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับแรงดันกระแสสลับให้กับฟิล์มพบว่ากระจกอัจฉริยะมีการกรองแสงที่ลดลง หรืออีกความหมายหนึ่งคือมีแสงส่องผ่านเข้ามาในกล่องที่มากขึ้น ในช่วงแรกเมื่อเพิ่มแรงดันจาก 0- 15 โวลต์ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดที่สุดแต่เมื่อเพิ่มแรงดันให้สูงกว่าช่วง 30 โวลต์ ระดับการเพิ่มความเข้มแสงที่ส่องเข้ามามีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าลง

4.3 การศึกษาพฤติกรรมเซนเซอร์รับแสงชนิด LDR

โหมดการทำงานแบบอัตโนมัติเป็นอีกหนึ่งฟังก์ชันการทำงานที่คอยรับค่าความเข้มแสงภายนอกมาประมวลผลเพื่อกำหนดระดับการทำงานของฟิล์มให้เหมาะสม



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับค่าอนุภาคของ PIN 5 V

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอนุภาค-ค่าความเข้มแสงโดยศึกษาในช่วง 0-4000 ลักซ์ เพราะอยู่ในช่วงความเข้มแสงมาตรฐานในการทำงาน พบว่า ค่าความสัมพันธ์เป็นไปในลักษณะที่แปรผกผัน นั้นหมายความว่า ยิ่งค่าความเข้มแสงสูงขึ้น ค่าอนุภาคที่เซนเซอร์รับแสงที่วัดได้ก็จะยิ่งมีค่าน้อยลง

5 สรุป

จากการ ทดลองยืนยัน ได้ว่าเมื่อนำองค์ประกอบที่มีหน้าที่เฉพาะเจาะจงแต่ละส่วนมาทำงานร่วม โดยผ่านการกำหนดรูปแบบการทำงานต่าง ๆ ของแต่ละอุปกรณ์นั้น สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังจะกล่าวคือ ฟิล์มสามารถปรับระดับจากที่แสง ไปยัง

โปร่งแสงได้ที่ผ่านการจ่ายแรงดันที่ระดับต่าง ๆ ที่มาจากการตัดต่อวงจรแรงดันผ่านหม้อแปลงแบบปรับระดับได้ และ ในการตัดต่อวงจรนี้จะทำงานผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ในการสั่งการทำงาน อีกทั้งยังมีโหมดการทำงานอัตโนมัติที่จะรับความเข้มแสงภายนอกมาปรับความเข้มแสงภายในได้อีกด้วย

REFERENCES

- [1] Bishop, A. (1986). Solid-state relay handbook with applications. (n.p.) H.W. Sams
- [2] Jawad, F., & Siahkolah, B. (2011). Electronic Tap-changer for Distribution Transformers. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [3] Lampert, C.M. (1998). "Smart switchable glazing for solar energy and daylight control" Solar Energy Materials & Solar Cells 52. 207-221.
- [4] Lee, E.S., & DiBartolomeo, D.L. (2002). "Application issues for large-area electrochromic windows in commercial buildings" Solar Energy Materials & Solar Cells 71. 465-491.
- [5] Papaefthimiou, S., Syrrakou, E. & Yianoulis, P. (2006). "Energy performance assessment of an electrochromic window" Thin Solid Films 502. 257-264.
- [6] Piccolo, A., & Simone, F. (2015). "Performance requirements for electrochromic smart window" Journal of Building Engineering 3. 94-103.
- [7] เดชอุทัย นิชธรรม. (2560). กัมภีร์การใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino. (ม.ป.ท.) ซีเอ็ดดูเคชั่น

ประวัติผู้เขียน



นาย พิรัชฐพงศ์ ทวีชัยบุตร เกิดวันที่ 10 มกราคม 2539 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย วิรัชพล รัชศรี เกิดวันที่ 26 สิงหาคม 2538 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย วิษณุ รัชยาสัตย์ เกิดวันที่ 22 มกราคม 2539 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จบการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย พิรัชฎ์พงศ์ ทวีชัยยุทธ เกิดวันที่ 10 มกราคม 2539
 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย วิริทธิ์พล รักษ์ศิริ เกิดวันที่ 26 สิงหาคม 2538
 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ
 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย วิษณุ รักษาสัตย์ เกิดวันที่ 22 มกราคม 2539
 จบการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนมาเรียลัย
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้